

**PENGARUH pH PADA PROSES PEMBUATAN PUPUK  
STRUVITE ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) DARI URINE MANUSIA PADA  
AERATION COLUMN CRYSTALLIZER**



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

**Oleh :**

**LIA KATRINA (12 2015 048)**

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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH pH PADA PROSES PEMBUATAN PUPUK  
*STRUVITE* ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) DARI URINE MANUSIA PADA  
*AERATION COLUMN CRYSTALLIZER***

**Disusun Oleh:**

**Lia Katrina**

**122015048**

**Disetujui Oleh:**

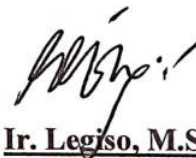
**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Eko Ariyanto, M.Chem.Eng**

**NIDN. 0217067504**

**Dosen Pembimbing II**

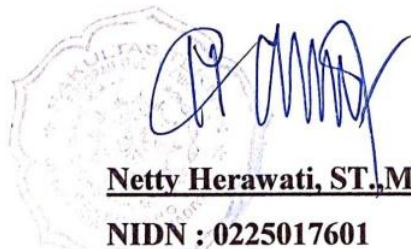


**Ir. Legiso, M.Si**

**NIDN. 0217086803**

**Mengetahui,**

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



**Netty Herawati, ST.,MT**  
**NIDN : 0225017601**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH pH PADA PROSES PEMBUATAN PUPUK *STRUVITE*  
( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) DARI URINE MANUSIA PADA *AERATION COLUMN*  
*CRYSTALLIZER***





**Disusun Oleh:**

**Lia Katrina**

**122015048**

**Telah di Uji dihadapan Tim Penguji pada Tanggal 29 Agustus 2019  
di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Palembang**

**Tim Penguji**

1. **Dr. Eko Ariyanto, S.T, M.Chem.Eng.** (  )
2. **Ir. Legiso, M.Si.** (  )
3. **Heni Juniar, S.T,M.T.** (  )
4. **Dr. Mardwita, M.T.** (  )

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Teknik UMP**

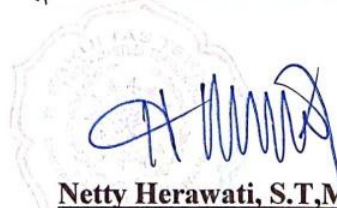


**Dr. Ir. Kgs. Ahmad Roni, M.T.**

**NIDN: 022707004**

**Menyetujui,**

**‡ 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/BAN-PT/Akred/S/X/2014

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nama : Lia Katrina  
NRP : 122015048  
Judul Tugas : "Pengaruh pH pada Proses Pembuatan Pupuk *Struvite* ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) dari Urine Manusia pada *Aeration Column Crystallizer*"

Telah Mengikuti Ujian Sidang Sarjana Prodi Teknik Kimia Pada Tanggal Dua Puluh Sembilan Bulan Agustus Tahun Dua Ribu Sembilan Belas.  
Dinyatakan Lulus Dengan Nilai : A

Palembang, 29 Agustus 2019

Ketua Tim Penguji

Dr. Eko Ariyanto, M.ChemEng.  
NIDN : 0217067504

Ketua Panitia Ujian Tugas Akhir  
Prodi Teknik Kimia

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

Pembimbing I

Dr. Eko Ariyanto, M.ChemEng.  
NIDN : 0217067504

Menyetujui,

Pembimbing II

Ir. Legiso, M.Si.  
NIDN : 0217086803

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UMP



Dr. Ir. Kgs. A. Roni, M.T.  
NIDN : 0227077004

Ketua Prodi Teknik Kimia UMP



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

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Lia Katrina  
Tempat/Tanggal lahir : Pengumbuk/17 Juli 1997  
NIM : 122015048  
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

  
  
Lia Katrina

## ABSTRAK

Limbah urine manusia dimasyarakat umum masih dianggap sebagai limbah buang sisa metabolisme tubuh yang tidak bernilai namun sesungguhnya urine manusia mengandung tiga unsur hara makro yaitu nitrogen, fosfor dan potasium yang diperlukan oleh tanaman sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dengan cara dikristalkan yaitu pupuk struvite, 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 pembentukan struvite dari urine manusia dengan menggunakan alat *aeration column crystallizer*, dengan proses kristalisasi untuk membentuk struvite kristal dengan bantuan reaktan ion Mg yang berasal dari  $\text{MgCl}_2$ .

Proses pembentukan struvite menggunakan *Aeration Column Crystallizer* dengan variasi pH 8, 8,5 dan 9. Pada variasi pH persentase penyisihan fosfat optimal terjadi pada pH 9 sebesar 93% dengan rasio reaktan  $\text{PO}_4 : \text{Mg}$  (1 : 3). Terjadinya penurunan pH pada proses pembentukan struvite kristal dari urine manusia menunjukkan terjadinya pembentukan struvite kristal, sehingga pH dapat merupakan indikator proses pertumbuhan struvite kristal.

**Kata kunci:** *Struvite*, Urin Manusia, Penyisihan  $\text{PO}_4$

## ABSTRACT

Human urine waste in the general public is still considered as waste that is not worth the body's metabolic waste but actually human urine contains three macro nutrients namely nitrogen, phosphorus and potassium needed by plants so that it can be used as fertilizer by crystallized namely struvite fertilizer, struvite is a crystal white 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 formation of struvite from human urine using Aeration Column Crystallizer, with the crystallization process to form struvite crystals with the help of Mg ion reactants derived from  $\text{MgCl}_2$ .

Struvite formation process uses Aeration Column Crystallizer with a variation of pH 8, 8.5 and 9. In the variation of pH, the optimal phosphate removal percentage occurs at pH 9 of 93% with a reactant ratio of  $\text{PO}_4$ : Mg (1: 3). The decrease in pH in the process of formation of crystal struvite from human urine indicates the formation of crystal struvite, so the pH can be an indicator of the growth process of crystal struvite.

**keywords:** *Struvite*, Human Urine,  $\text{PO}_4$  Recovery

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur selalu tercurahkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan karunia-NYA penelitian ini dapat kami selesaikan tepat pada waktunya. Laporan ini berjudul **“PENGARUH pH PADA PROSES PEMBUATAN PUPUK STRUVITE (MGNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O) DARI URINE MANUSIA PADA AERATION COLUMN CRYSTALLIZER”**. Laporan ini disusun 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 sarjana di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa hasil dari penulisan laporan penelitian ini tidak terlepas dari kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diharapkan guna kesempurnaan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih penulis haturkan terutama kepada dosen pembimbing tugas akhir, yaitu kepada 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. Kgs. A Roni, ST.MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Ibu Netty Herawaty ST,MT selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Dr. Mardwita ST,MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak Dr. Eko Ariyanto, M.Chem.Eng selaku Dosen pembimbing 1 Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Legiso, M.Si selaku Dosen pembimbing 2 Tugas Akhir.
6. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mata kuliah serta membimbing dari awal sampai akhir kuliah.



7. Staf serta asisten laboratorium di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
8. Teman – teman Teknik Kimia angkatan 2015 dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang terlibat dan turut membantu dalam penyelesaian laporan penelitian ini.

Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi rekan mahasiswa dan untuk semua pihak yang berkepentingan. Aamiin.

Palembang, 29 Agustus 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR LAMPIRAN .....	vi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Urine .....	4
2.2 Presipitasi Kimia.....	4
2.3 Presipitasi <i>Struvite</i> .....	5
2.4 Pembentukan <i>Struvite</i> .....	5
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan <i>Struvite</i> .....	8
2.5.1 Derajat Keasaman (Ph) .....	8
2.5.2 Rasio Molar Reaktan Mg:PO <sub>4</sub> .....	10
2.5.3 Pengaruh Laju Aerasi.....	11
2.5.4 Solid .....	11

2.5.5 Kehadiran Ion Lain .....	11
2.6 Beberapa Peneliti Sebelumnya yang Mempelajari Pembentukan .... <i>Struvite</i> Kristal dari Berbagai Macam Limbah.....	16

### **BAB III Metodologi Penelitian**

3.1 Lokasi penelitian .....	19
3.2 Bahan yang digunakan .....	19
3.3 Rangkaian Alat Penelitian .....	20
3.4 Kerangka Penelitian .....	21
3.5 Prosedur Penelitian.....	22
3.6 Pengamatan Pengolahan Limbah.....	23
3.7 Tabel Pengamatan .....	23

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Penelitian .....	26
4.2 Pembahasan .....	29
4.2.1 Analisa Limbah Urine Manusia.....	29
4.2.2 Pengaruh pH Terhadap Kandungan $PO_4$ , $NH_4$ dan Mg .....	30
4.2.3 Pengaruh Waktu Terhadap Proses Recovery $PO_4$ dan pH ...	31
4.2.4 Pengaruh pH Larutan Terhadap Persentase Penyisihan $PO_4$	32
4.2.5 Kinetika Reaksi Pembentukan <i>Struvite</i> Kristal .....	34

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>38</b>
----------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mineral MAP .....	8
Gambar 2.2 Distribusi Fosfat Sebagai Fungsi pH .....	9
Gambar 2.3 Distribusi Ammonia Sebagai Fungsi pH .....	10
Gambar 2.4 Perbandingan Rasio $[Mg^{2+}]:[Ca^{2+}]$ 1:0.....	14
Gambar 2.5 Perbandingan Rasio $[Mg^{2+}]:[Ca^{2+}]$ 2:1.....	14
Gambar 2.6 Perbandingan Rasio $[Mg^{2+}]:[Ca^{2+}]$ 1:1.....	15
Gambar 2.7 Perbandingan Rasio $[Mg^{2+}]:[Ca^{2+}]$ 1:2.....	15
Gambar 3.1 Sistem <i>Aeration Column Crystallizer</i> .....	20
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian.....	22
Gambar 4.1 Pengaruh pH Urine Terhadap Konsentrasi $NH_4$ , $PO_4$ dan Mg .....	30
Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Terhadap pH .....	31
Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Terhadap Penyisihan $PO_4$ .....	31
Gambar 4.4 Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan $PO_4$ .....	33
Gambar 4.5 Perbandingan Kinetika Antara (a) Kinetika First Orde dan (b) Kinetika Second Orde pada PH 8, 8,5, dan 9 dengan Rasio Reaktan $PO_4$ : Mg (1:3)	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Analisa kandungan fosfor dan zat lain di urin manusia (mg/L) .....	4
Tabel 2.2 Senyawa potensial yang terbentuk dan nilai pK-nya .....	6
Tabel 2.3 pH kelarutan minimum struvite .....	9
Tabel 2.4 Hubungan Kalsium Fosfat dan Sifat Utamanya.....	13
Tabel 3.1 Pengamatan Konsentrasi PO <sub>4</sub> (mg/L) .....	23
Tabel 3.2 Pengamatan Konsentrasi NH <sub>4</sub> (mg/L) .....	24
Tabel 4.1 Kandungan PO <sub>4</sub> dan NH <sub>4</sub> pada Sampel Urine Manusia yang Digunakan dalam Penelitian .....	26
Tabel 4.2 Pengamatan pH larutan dengan Perbandingan Rasio Reaktan PO <sub>4</sub> :Mg (1:3)	27
Tabel 4.3 Pengamatan Konsentrasi PO <sub>4</sub> (mg/L) dengan Perbandingan Rasio Reaktan PO <sub>4</sub> :Mg (1:3) .....	27
Tabel 4.4 Pengamatan Penurunan % Recovery PO <sub>4</sub> (mg/L) dengan Perbandingan Rasio Reaktan PO <sub>4</sub> :Mg (1:3) .....	28
Table 4.5 Kinetika Kristalisasi Struvite dari Urine Manusia .....	35

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Limbah urine manusia dimasyarakat umum masih dianggap sebagai limbah buang sisa metabolisme tubuh yang tidak bernilai namun sesungguhnya urine manusia mengandung tiga unsur hara makro yaitu nitrogen, fosfor dan potasium, dalam setahun rata-rata manusia mengeluarkan urine sebanyak 500 liter hal ini sama dengan 4 kg nitrogen, 0.5 kg fosfor dan 1 kg potasium. Selain itu terdapat juga unsur hara lainnya seperti magnesium, kalsium dan karbon.

Disisi lain peningkatan populasi manusia pendorong peningkatan kebutuhan pangan, hal ini akan berarti pula peningkatan kebutuhan tanah dengan unsur hara yang baik bagi tanaman untuk menunjang hasil pertanian yang bernutrisi sebagai pangan bagi manusia, sebagaimana diketahui diantara semua unsur hara yang terdapat diurine, yang mendominasi adalah nitrogen. Diketahui bahwa nitrogen sangat diperlukan oleh tanaman. Nitrogen dalam tanaman berfungsi untuk memperbaiki pertumbuhan vegetatif tanaman, meningkatkan kadar asam amino yang sekaligus kadar protein pada tanah, meningkatkan jumlah daun dan meningkatkan warna hijau daun yang berfungsi dalam proses fotosintesis karena kandungan klorofil yang tinggi, dan membantu meningkatkan pH tanah yang berfungsi dalam penyerapan berbagai unsur hara. Karena itulah dikembangkan pembuatan pupuk dari urine manusia berupa pupuk struvite.

Struvite adalah kristal putih secara kimia dikenal sebagai magnesium amonium fosfor hexahydrate ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Parameter yang merupakan factor penting 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  $Mg^{2+}:NH_4^+:PO_4^{3-}$  (Kumar dan Pal, 2013) dan gradien kecepatan. Berdasarkan penelitian Pratama (2015) presipitasi optimal terjadi pada rasio molar  $[Mg^{2+}]:[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$  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  $[Mg^{2+}]:[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$  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  $MgCl_2 > MgSO_4 > MgO > Mg(OH)_2 > MgCO_3$  (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 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 daripada 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  $\text{PO}_4$  dan  $\text{NH}_4$  yang terkandung didalam urine dengan proses kristalisasi untuk membentuk struvite kristal dengan bantuan reaktan ion Mg yang berasal dari  $\text{MgCl}_2$  yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pertanian dengan menggunakan variasi pH . Selain itu, proses kristalisasi ini diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimum dalam pengolahan limbah urine.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh pH terhadap persentase penyisihan  $\text{PO}_4$  dan  $\text{NH}_4$  pada proses pembentukan struvite kristal dari urine manusia.
2. Mempelajari proses penurunan pH larutan urine manusia terhadap pembentukan struvite.
3. Mempelajari kinetika reaksi proses pembuatan struvite kristal dari urine manusia

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi optimum pH terhadap penyisihan  $\text{PO}_4$  dan  $\text{NH}_4$  pada proses pembentukan struvite kristal dari urine manusia.
2. Mengetahui laju penurunan pH larutan urine manusia.
3. Mengetahui kinetika reaksi proses pembentukan struvite kristal dari urine manusia.



**DAFTAR PUSTAKA**

- A. R. Fitriana. 2016. Penurunan Ammonium dan Fosfat Pada Limbah Cair PT Petro Kimia Gersik Unit Produksi I dan III : Surabaya.
- 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 (MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O) Formation in a Wastewater Treatment Plant: Kinetic and Nucleation Mechanism*. Desalination and Water Treatment. Hal. 1-12.
- Ariyanto, E., Melani, A., Anggraini, T. 2015. *Penyisihan PO<sub>4</sub> dalam Air Limbah Rumah Sakit untuk Produksi Pupuk Struvite*. Seminar Nasional dan Teknologi 2015. Hal. 1-8
- 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.
- B. Etter, E. Tilley, R. Khadka, K.M. Udert.2010. *Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal*.
- 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. *Laboratoryand in-situ Reductions of Soluble Phosphorusin 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 AmoniumFosfatprecipitation and its*

- Applicability to the Removal of Amonium*. 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.
- Doyle, J. D. dan Parsons, S. A. 2002. *Struvite Formation, Control and Recovery*. Water Research. Vol. 36, No. 16. Hal. 3925-3940.
- Driver, J., Lijmbach, D., dan Steen, I. 1999. *Why Recovery Phosphorus for Recycling and How?*. Environmental Technology. Vol. 20, No. 7. Hal. 651-662.
- 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.
- Fitriana, Warmadewanthi. 2016. Penurunan kadar amonium dan fosfat pada limbah cair industri pupuk. J Teknik ITS. 5(2) : 2337-3539. Masduqi, 2003.
- Hanæus, Å., D. Hellström, and E. Johansson. 1996. Conversion of urea during storage of human urine. Vatten, 52: 263-270.
- Huang H, Xiao D, Zhang Q, Ding L. 2014. Removal of ammonia from landfill leachate by struvite precipitation with the use of low-cost phosphate and magnesium sources. J Environ Manag. 145 : 191-198.
- Kofina AN, Koutsoukos PG. 2004. Nucleation and Growth of Struvite from Synthetic Wastewater. International Conference on struvite: its role in phosphorus recovery and reuse, Cranfield (UK).

Snoeyink, V.L. dan Jenkins, D., 1980, Water Chemistry, John Wiley and Sons,  
New York

Zulkarnain, Fathurrozi Wali. 2018. Penurunan Kadar Amonium Dan Fosfat Pada  
Air Limbah Peternakan Sapi Dengan Metode Presipitasi Struvite.  
Institut Pertanian Bogor : Bogor