

## SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI *BAT GUANO* DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

**Adhi Kamanjaya, Ilham Rahmat Hidayat, Sutiyono**

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Email: 18031010209@student.upnjatim.ac.id, 18031010177@student.upnjatim.ac.id,  
sutiyono.tk@upnjatim.ac.id

### Abstrak

Bat Guano adalah bahan organik yang bersumber dari kotoran kelelawar dan burung laut dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Provinsi Jawa Tengah merupakan deposit bat guano terbesar yang dapat mencapai 10 juta ton/tahun. Hal ini menimbulkan permasalahan baru berupa bat guano yang menumpuk tanpa adanya proses pengolahan di wilayah ini. Sehingga diperlukan pengolahan bat guano salah satunya yaitu bisa dijadikan sebagai struvite. Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh struvite sebagai bahan baku pupuk dengan memanfaatkan sumber ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari limbah bat guano. Penelitian ini berjalan dengan laju aliran udara 0,5 L/ menit dengan variasi suhu 20,25,30,35<sup>0</sup>C dan variasi pH 8,9,10,11. Kondisi optimum pembentukan struvite yaitu pada suhu kamar dan pada pH sekitar 8-9. Hasil terbaik yang diperoleh dalam penelitian ini adalah pada suhu 30<sup>0</sup>C dan pH 9. Hasil sinar XRD menunjukkan adanya peak pada struvite dan hasil SEM pada kristal yang diuji berbentuk partikel bulat.

**Kata Kunci:** bat guano; struvite; kristalisasi

### Abstract

*Bat Guano is an organic material sourced from bat and seabird droppings and can be used as fertilizer. Central Java province is the largest guano deposit which can reach 10 million tons/year. This raises a new problem in the form of bat guano that accumulates without any processing in this area. So it is necessary to process guano, one of which can be used as struvite. The purpose of this study was to obtain struvite as a fertilizer raw material by utilizing the source of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions from guano bat waste. This research was carried out with an air flow rate of 0.5 L/min with a temperature variation of 20,25,30,35<sup>0</sup>C and a pH variation of 8,9,10,11. The optimum conditions for the formation of struvite are at room temperature and at a pH of around 8-9. The best results obtained in this study were at a temperature of 30<sup>0</sup>C and pH 9. The XRD ray results showed a peak in struvite and the SEM results in the tested crystals were in the form of spherical particles.*

**Keywords:** bat guano; struvite; kristalisasi

## Pendahuluan

*Bat Guano* adalah bahan organik yang bersumber dari kotoran kelelawar dan burung laut dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman, fungisida, nematosida dan aktivator kompos (Shetty et.al, 2013). Provinsi Jawa Tengah merupakan deposit *bat guano* terbesar yang dapat mencapai 10 juta ton/tahun (Idris, 2007). Hal ini menimbulkan permasalahan baru berupa *bat guano* yang menumpuk tanpa adanya proses pengolahan di wilayah ini. Struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) merupakan kristal putih hasil reaksi antara ion  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dengan perbandingan molar 1:1:1 (Robiah, 2020). Struvite memiliki reaksi ion sebagai berikut :



Struvite terbentuk melalui proses pengendapan yang melibatkan proses fisik-kimia membentuk endapan yang dapat dipisahkan dari larutan (Adiman,2020). Pembentukan struvite sangat dipengaruhi oleh nilai pH. Menurut (Doyle, 2000) pembentukan struvite terjadi antara rentang pH 7 hingga 11. Reaktor yang digunakan dalam proses pembuatan struvite yaitu reaktor kolom sekat yang prosesnya berjalan secara *kontinyu*. Reaktor sekat yang digunakan berbentuk vertikal sebagai tempat terbentuknya kristal struvite sesuai dengan reaktor yang digunakan. Pada reaktor jenis ini digunakan udara sebagai pengaduk pada aliran yang ada di dalam vertical reaktor tersebut, sehingga MAP (Magnesium Amonium Phospate) yang ada di dalam reaktor dapat homogeny (Adiman, Feriyanto, & Edahwati, 2020). Pengadukan pada reaktor kolom bersekat dibantu oleh udara yang masuk dari kompresor udara yang dilengkapi dengan regulator rate udara. Sekat yang dirancang dalam reaktor ini bertujuan untuk pemecah gelembung-gelembungair yang berasal dari udara (Sutiyono *et all*, 2016).

### 1. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Struvite

Derajat keasaman atau pH merupakan faktor penting dalam pembentukan struvite (Rontelap, 2007). Struvite terjadi pada kondisi basa dengan pH antara 6,5 – 10 (Bowers, 2004).

Aliran udara digunakan untuk meningkatkan kecepatan terjadinya reaksi. Aliran udara menyebabkan terjadinya homogenitas pada sebuah larutan (Darmadi 2014).

Agitasi (pengadukan) sering digunakan dalam proses kristalisasi untuk menghasilkan kristal. dkk. Dengan dilakukannya pengadukan, bentuk dan ukuran kristal yang dihasilkan cenderung homogen, semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan maka semakin tinggi pula kemurnian dan *yield* kristal yang dihasilkan (Khairunisa, Lita F., Asri W., 2019).

### 2. Proses Pembentukan Kristal Struvite

Kristalisasi adalah proses pembentukan bahan padat dari pengendapan larutan,melt (campuran leleh) (McCabe, 1985) Pembentukan kristal struvite dari sebuah limbah, sintesis dapat dilakukan dengan menggunakan *reactor fluidized bed* (Shih,2017). Sehingga untuk reaksi sintesis struvite dari limbah *bat guano* dapat ditunjukkan dari gambar berikut:

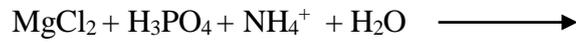
Kandungan *Bat Guano*



Bahan Kimia



Dimana  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , dan  $\text{MgCl}_2$  direaksikan sehingga menjadi :



(Struvite)

## Metode Penelitian

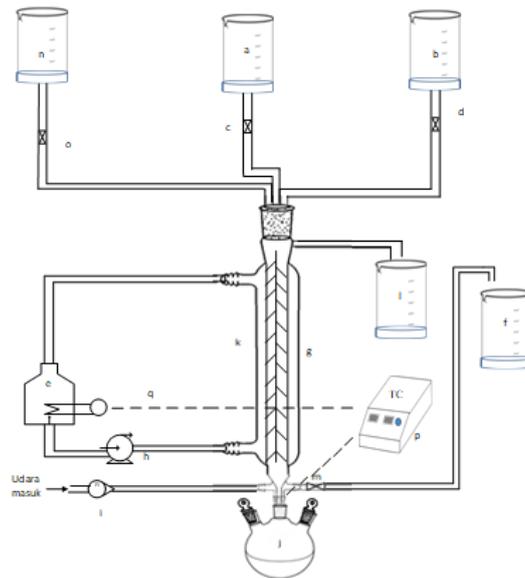
### 1) Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah *Bat Guano* sebagai sumber Fosfat dan Amonium dari Goa Petruk, Kebumen. Adapun bahan lainnya adalah magnesium klorida ( $\text{MgCl}_2$ ) dan kalium hidroksida dengan konsentrasi 2 N sebagai pengatur pH, dimana kedua bahan kimia ini dibeli di Nirwana.

### 2) Prosedur

Larutan *Bat Guano* ditambahkan dari atas reaktor mencapai  $\frac{3}{4}$  dari ketinggian kolom bersamaan dengan  $\text{MgCl}_2$ . Udara dimasukkan dari bawah kolom dengan rate udara sebesar 0,5 L/menit. Suhu diatur sesuai dengan variasi sebesar 20;25;30;35 °C. KOH 2N dimasukkan sedikit demi sedikit sesuai dengan variasi pH yang telah ditentukan yaitu pH 8,9,10,11. Proses dijalankan hingga mencapai kondisi *steady state*. Hasil endapan struvite yang terbentuk disaring dengan kertas saring *Whatman* kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 48 jam dan ditimbang. Pengeringan menggunakan oven dihindari karena dapat menyebabkan perubahan struktur presipitat akibat penguapan ikatan amonium maupun hidrat (Laconi *et al.*, 2010). Kemudian dianalisa kadar Mg,  $\text{PO}_4$ , dan  $\text{NH}_4$ .

Karakterisasi meliputi uji suhu, uji pH, uji XRD, uji XRF, uji SEM. Uji XRD dilakukan untuk mengetahui adanya kristal struvite. Uji XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi struvite. Uji SEM dilakukan pada produk yang memiliki presipitat hasil optimum. Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi ini.



**Gambar 1**  
**Rangkaian Alat Reaktor Kolom Sekat**

Keterangan:

- a) Tangki penampung Magnesium ( $MgCl_2$ )
- b) Tangki penampung
- c) Kran pengatur laju Magnesium
- d) Kran pengatur laju KOH
- e) Boiler
- f) Tangki penampung larutan keluar
- g) Reaktor Kolom Sekat
- h) Pompa air
- i) Rotameter
- j) Tangki penampung endapan
- k) Pemanas jaket
- l) Tangki penampung larutan overflow
- m) Kran pengatur laju larutan keluar
- n) Tangki penampung limbah kelelawar
- o) Kran pengatur laju limbah kelelawar
- p) Thermocontrol
- q) Arus listrik

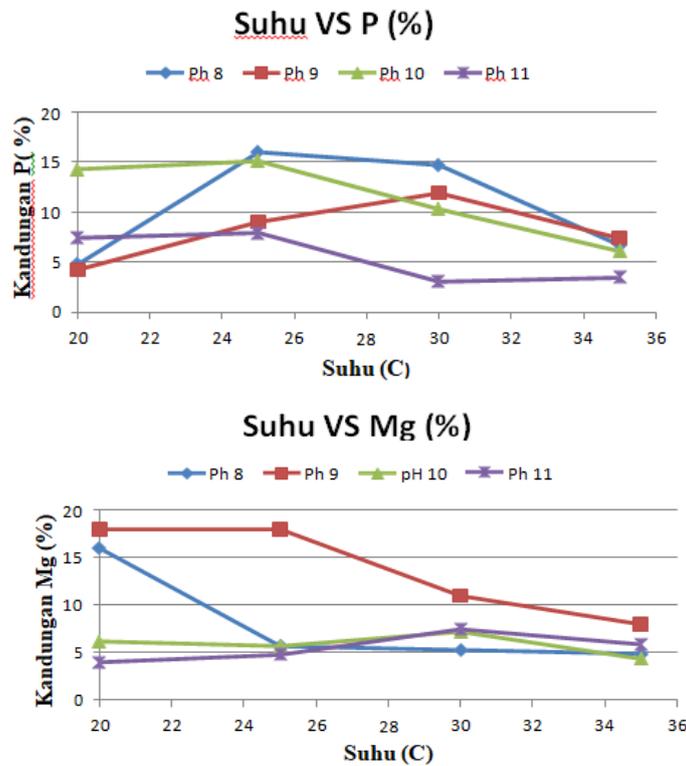
### Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa XRF dapat dilihat melalui Tabel 1. dimana variabel yang dijalankan meliputi pH dan suhu. Data disajikan pada Tabel berikut:

pH	Komponen	Suhu (C)			
		20	25	30	35
8	P (%)	4,8	16	14,7	6,7
	Mg (%)	16	5,7	5,3	4,9
9	P (%)	4,27	9,03	11,9	7,4
	Mg (%)	18	18	11	8
10	P (%)	14,3	15,1	10,3	6,1
	Mg (%)	6,2	5,7	7,2	4,35
11	P (%)	7,43	7,93	3,07	3,45
	Mg (%)	4	4,8	7,5	5,9

Data diatas diperjelas dengan menggunakan gambar. Berikut gambar dari berbagai variabel.

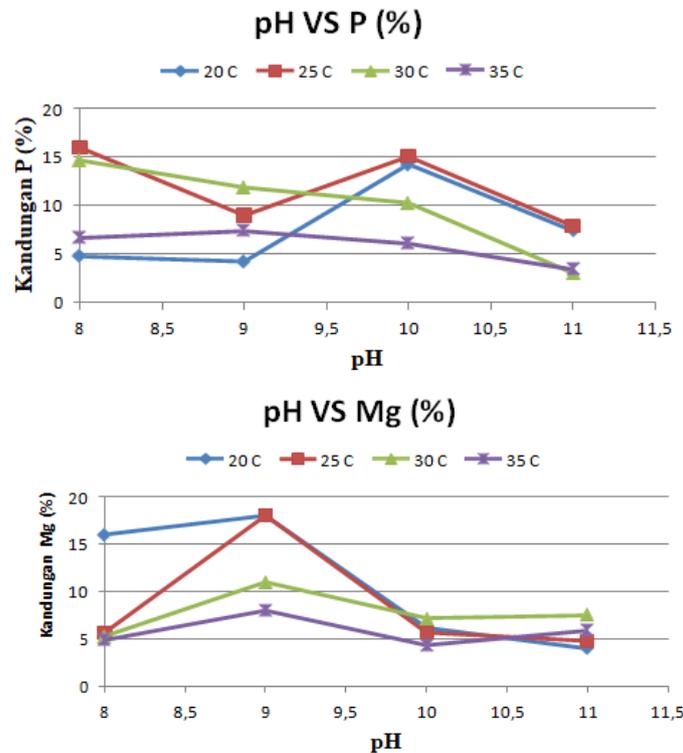
**1. Pengaruh Suhu dengan %berat P dan Mg**



**Gambar 2**  
**Grafik Hubungan antara Suhu Vs %P dan %Mg**

Berdasarkan Gambar 2, grafik hubungan antara suhu dan % berat P dan & berat Mg diperoleh variasi dalam berbagai pH MAP. Hasilnya adalah bahwa kandungan % P dan % berat Mg dalam pembentukan struvite akan menurun pada suhu diatas suhu kamar. Pada setiap suhu, pH yang paling besar akan menghasilkan struvite yang paling sedikit, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Suhu berpengaruh dalam pembentukan struvite. Apabila suhu yang diberikan terlalu besar maka pembentukan

kristal menjadi lebih lambat karena proses pencampuran unsur P menjadi kurang baik sehingga reaksi pembentukan struvite menjadi tidak stabil. Pada pH 10 dan 11 suhu 20 °C, terjadi perbedaan dalam proses reaksi pembentukan struvite. Hal ini dikarenakan waktu tinggal dalam proses reaksi juga terjadi perbedaan pada waktu tinggal seharusnya.



**Gambar 3**  
**Grafik Hubungan antara pH Vs %P dan %Mg**

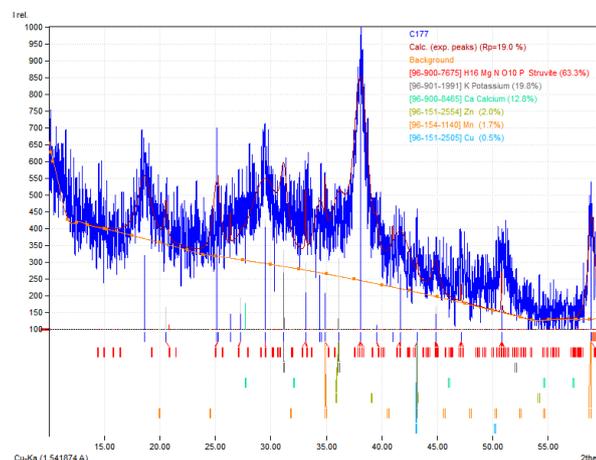
Berdasarkan Gambar 3, grafik hubungan antara pH dan % berat P diperoleh variasi dalam berbagai suhu MAP. Berdasarkan grafik diatas dapat dikatakan bahwa kandungan % P dalam pembentukan struvite akan menurun pada pH yang tinggi. Pengaruh pH larutan merupakan salah satu faktor yang paling penting untuk proses reaksi pembentukan kristal struvite. Peningkatan pH larutan diatas pH 10 mengakibatkan penurunan kandungan % P dalam pembentukan struvite. Hal ini dikarenakan pada pH diatas 10 akan cenderung membentuk impurities sehingga menurunkan ketersediaan ion P yang dapat menurunkan produktivitas pembentukan kristal struvite. Pada suhu 20 °C pH 8 dan 9, terjadi perbedaan dalam proses reaksi pembentukan struvite. Hal ini dikarenakan waktu tinggal dalam proses reaksi juga terjadi perbedaan pada waktu tinggal seharusnya.

Pada penelitian ini digunakan perbandingan rasio molar ( $Mg_2:NH_4^+ :PO_4^{3-}$ ) 1:1:1 dengan mempertimbangkan jumlah kandungan pada *bat guano* seperti magnesium sebesar ammonium sebesar 5,23 % dan pospat sebesar 17,67%. Menurut (Liu, 2009) Semakin besar rasio molar maka efisiensi removal pospat juga akan semakin besar, akan tetapi kemurnian struvite yang terbentuk akan menurun. (Liu, 2009) juga

menyatakan bahwa kelebihan ammonium akan menguntungkan dalam pembentukan struvite karena dapat dipastikan bahwa presipitat yang akan terbentuk dalam reaksi adalah struvite. Selain itu, efisiensi removal  $\text{PO}_4^{3-}$  meningkat seiring dengan meningkatnya rasio molar  $\text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-}$ . Jadi hasil dengan perbandingan rasio molar ( $\text{Mg}_2:\text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-}$ ) 1:1:1 saja masih mengandung sedikit struvite, apalagi jika menggunakan rasio molar 1:1:0 maka struvite tidak terbentuk. Hal ini disebabkan karena dalam *bat guano* masih mengandung banyak pengotor dan unsur lain seperti sulfur, kalsium, kalium, mangan, ferrum, cuprum, zinc, dysprosium, renium. Perbandingan rasio molar 1:1:1 didapatkan hasil terbaik pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dengan pH 9, dengan jumlah kandungan magnesium sebesar 11% dan phosphate sebesar 11,9 %

## 2. Hasil XRD

komposisi kualitatif dari kristal dapat diidentifikasi dengan metode analisa XRD (Rahman dkk, 2014). Hasil analisa dengan metode XRD pada pH 11 dengan suhu  $20^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada Gambar 3.

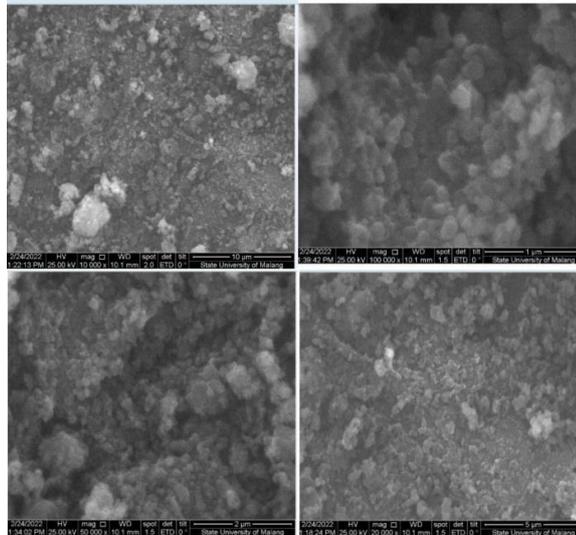


**Gambar 4**  
**Hasil Analisa XRD (X-Ray Diffraction)**

Dapat dijelaskan bahwa material struvite telah terbentuk. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak grafik yang berwarna merah (pola difraksi struvite) adapun grafik berwarna biru adalah pola difraksi dari endapan yang diuji. Puncak pada setiap pola difraksi struvite telah diisi oleh puncak pola difraksi endapan yang diuji. Akan tetapi terdapat beberapa puncak pada kedua pola difraksi yang tidak sesuai. Penyebabnya adalah endapan yang diuji masih tidak murni sepenuhnya adalah struvite, endapan yang diuji masih mengandung impuritis dan mengandung mineral lain yang terbentuk selama proses kristalisasi (Prabhu and Mutnuri, 2014).

## 3. Hasil SEM

Untuk membuktikan bentuk kristal struvite maka kita perlu melakukan SEM analysis. Hasil analisa SEM adalah sebagai berikut:



**Gambar 4**  
**Hasil Analisa SEM**

Berdasarkan teori yang ada menurut (Fitriana dkk, 2016) dikatakan bahwa kristal struvite murni memiliki bentuk batang dengan ujung runcing, permukaannya bersih dan tanpa cacat. Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat karakteristik kristal struvite yang didapatkan adalah amorf atau tidak beraturan. Hal ini disebabkan karena dalam *bat guano* masih mengandung banyak pengotor dan unsur lain seperti kalsium, kalium, mangan, tembaga, neodimium, molybdenum, europium, iterbium. Perbesaran yang digunakan dalam analisis tersebut peneliti memilih perbesaran 10,20,50,dan 100  $\mu\text{m}$  dengan harapan karakteristik kristal struvite dapat terlihat dengan jelas Karakteristik kristal struvite tentu saja dipengaruhi oleh kandungan yang terdapat dalam kristal struvite tersebut.

### **Kesimpulan**

1. Suhu yang terbaik dalam pembentukan mineral struvite dari *bat guano* adalah pada suhu 30<sup>0</sup>C. pH yang terbaik dalam pembentukan mineral struvite dari *bat guano* adalah pH 9.
2. Pada kondisi terbaik yaitu Ph 9 dan suhu 30<sup>0</sup>C, struvite yang dihasilkan memiliki kandungan magnesium 11% dan phosphate 11,9 %.
3. Kristal struvite pada bat guano memiliki jenis kristal seperti partikel bulat berwarna putih yang tidak beraturan.

## BIBLIOGRAFI

- Adiman, Thareq Muhammad Fathan, Feriyanto, Ahmad, & Edahwati, Luluk. (2020). Mineral Struvite dari Batuan Dolomit dengan Reaktor Kolom Sekat. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 85–91. [Google Scholar](#)
- Ariyanto, Eko, Melani, Ani, & Anggraini, Tri. (2015). Penyisihan Po<sub>4</sub> Dalamair Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Pupuk Struvite. *Prosiding Semnastek*. [Google Scholar](#)
- Cahyana, Agus, Marzuki, Ahmad, & Cari, Cari. (2014). Analisa sem (scanning electron microscope) pada kaca tzn yang dikristalkan sebagian. *Mathematics And Sciences Forum 2014*. [Google Scholar](#)
- Darmadi, Darmadi. (2014). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Pupuk Urea Menggunakan Advanced Oxidation Processes. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(1). [Google Scholar](#)
- Dhakal, Sushmita. (2008). *A laboratory study of struvite precipitation for phosphorus removal from concentrated animal feeding operation wastewater*. [Google Scholar](#)
- Farrah, Diba, Dkk. (2013). Peningkatan Kadar N,P,K Pada Pupuk Organik Cair dengan Bat Guano. *Indo Journal Chem*, 2(1). [Google Scholar](#)
- Idris, Suwarno dan K. (2007). Potensi dan kemungkinan penggunaan guano secara langsung sebagai pupuk di Indonesia. *Jurnal Tanah Dan Lingkungan*, 9(1), 37 – 43. [Google Scholar](#)
- Khairunisa, Lita F., Asri W., dan Sarifah N. (2019). Kajian Pengaruhh Kecepatan Pengadukan terhadap Rendemen dan Mutu Kristal Patchouli Alcohol dengan Metode Cooling Crystallization. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 7(1). [Google Scholar](#)
- Li, Bing, Boiarkina, Irina, Yu, Wei, Huang, Hai Ming, Munir, Tajammal, Wang, Guang Qian, & Young, Brent R. (2019). Phosphorous recovery through struvite crystallization: challenges for future design. *Science of the Total Environment*, 648, 1244–1256. [Google Scholar](#)
- Liu, J. C. (2009). Recovery of phosphate and ammonium as struvite from semiconductor wastewater. *Separation and Purification Technology*, 64(3), 368–373. [Google Scholar](#)
- McCabe, Warren. (1985). *L., Julian. C. Smith, and Peter Harriot. . Unit operations in chemical engineering*. McGraw-Hill book company. New York, NY. [Google Scholar](#)

- Munasir, Dkk. (2012). Uji XRD dan XRF Pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub>). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 2(1). [Google Scholar](#)
- Rismaka. (2009). Crystallization from Metastable Region with Different Types of Seed Crystal. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 30(2). [Google Scholar](#)
- Robiah, A. (2020). Kinetika Pembentukan Struvite Kristal Menggunakan Zeolit Alam sebagai Adsorben pada Aeration Cone Column Crystallizer. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(1), 60–73. [Google Scholar](#)
- Ronteltap, M. M. (2007). *Struvite Precipitation Thermodynamics in Source-Separated Urine* (pp. 977–984). pp. 977–984. Water Research. [Google Scholar](#)
- Septiani. (2020). *Pengolahan Bittern sebagai Pembentuk Pupuk Struvite Menggunakan Reaktor Sekat Secara Sinambung*. [Google Scholar](#)
- Shetty S, Sreepada KS, Bhat R. (2013). Effect of bat guano on the growth of *Vigna radiata* L. International Journal of Scientific and Research Publications. *International Journal of Scientific and Research Publications*. [Google Scholar](#)
- Shih, Y.-J., Abarca, R. R. M., de Luna, M. D. G., Huang, Y.-H., & Lu, M. .. (2017). *Recovery of phosphorus from synthetic wastewaters by struvite crystallization in a fluidized-bed reactor: Effects of pH, phosphate concentration and coexisting ions* (pp. 466–473). pp. 466–473. Chemosphere. [Google Scholar](#)
- Susilawati. (2019). *Dasar-Dasar Bertanam*. Universitas Sriwijaya PRESS, Palembang. [Google Scholar](#)
- Sutiyono, S., Edahwati, L., Muryanto, S., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2018). Synthesis of Struvite using a Vertical Canted Reactor with Continuous Laminar Flow Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 12244. IOP Publishing. [Google Scholar](#)

---

**Copyright holder:**

Adhi Kamanjaya, Ilham Rahmat Hidayat, Sutiyono (2022)

**First publication right:**

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

**This article is licensed under:**

