

KAJIAN PENAMBAHAN ION KALSIUM PADA KRISTALISASI STRUVITE DARI URINE MANUSIA

Dyah Suci Perwitasari*, Erwan Adi Saputro, Izal Daffa Rizquallah, Dimas Ilham Akbar

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya Jawa Timur 60294, Telp. (031) 87062179

*Penulis korespondensi: saridyah05@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ion kalsium pada pembentukan Kristal struvite yang dapat digunakan sebagai pupuk dengan pengaruh suhu dan perbandingan molar Struvite adalah kristal putih secara kimia dikenal sebagai magnesium amonium phosphat hexahydrate ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Pupuk struvite dari limbah urine mempunyai keunggulan dari segi ekonomi, karena biaya produksi pupuk struvite ini jauh lebih murah dan mudah dibandingkan dengan pembuatan pupuk lainnya, bahkan pertumbuhan, biomassa, dan kandungan klorida tanaman sedikit lebih tinggi jika menggunakan pupuk urine. Pembuatan struvite ini menggunakan magnetic stirrer dengan perbandingan molar $Mg:PO_4:Ca$ dan suhu sebesar $30^\circ C$, $35^\circ C$, dan $40^\circ C$. Hasil terbaik dari penelitian ini yaitu dengan perbandingan molar $Mg:PO_4:Ca$ 1:1:0 pada suhu $40^\circ C$ dengan kadar P_2O_5 sebesar 46,2%.

Kata kunci: kalsium; P_2O_5 ; struvite; urine

STUDY OF ADDITIONAL CALCIUM IONS IN STRUVITE CRYSTALIZATION FROM HUMAN URINE

Abstract

This research aims to determine the effect of adding calcium ions on the formation of struvite crystals which can be used as fertilizer with the influence of temperature and molar ratio. Struvite is a white crystal chemically known as magnesium ammonium phosphate hexahydrate ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Struvite fertilizer from urine waste has advantages from an economic perspective, because the cost of producing struvite fertilizer is much cheaper and easier than making other fertilizers, even plant growth, biomass and chloride content are slightly higher when using urine fertilizer. Struvite is made using a magnetic stirrer with a molar ratio of $Mg:PO_4:Ca$ and temperatures of $30^\circ C$, $35^\circ C$ and $40^\circ C$. The best results from this research were with a molar ratio of $Mg:PO_4:Ca$ 1:1:0 at a temperature of $40^\circ C$ with a P_2O_5 content of 46.2%.

Keywords: Calcium; P_2O_5 ; struvite; urine

PENDAHULUAN

Urine manusia, meskipun dianggap sebagai limbah buang sisa metabolisme tubuh yang tidak bernilai di masyarakat umum, sebenarnya mengandung tiga unsur hara makro utama, yaitu nitrogen, fosfor, dan kalium. Setiap tahunnya, manusia mengeluarkan sekitar 500 liter urine, yang setara dengan 4 kg nitrogen, 0,5 kg fosfor, dan 1 kg kalium. Selain itu, urine juga mengandung unsur hara lain seperti magnesium dan karbon (Sari, 2016). Nitrogen, yang merupakan unsur dominan dalam urine, sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Unsur nitrogen berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif, meningkatkan asam amino dan protein dalam

tanah, serta meningkatkan jumlah dan warna hijau daun melalui kandungan klorofil, yang penting dalam proses fotosintesis. Selain itu, nitrogen juga membantu meningkatkan pH tanah dan penyerapan berbagai unsur hara (Wiyono, 2015).

Oleh karena itu, telah dikembangkan metode untuk menggunakan urine manusia sebagai pupuk, dengan membuat pupuk struvite. Struvite adalah kristal putih yang secara kimia dikenal sebagai senyawa magnesium amonium fosfor hexahydrate ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Pembentukan struvite terjadi melalui reaksi magnesium, amonium, dan fosfor dalam larutan yang memiliki pH antara 8 hingga 10. Proses ini menghasilkan kristal struvite, yang terjadi ketika konsentrasi magnesium, amonium, dan fosfor

dalam larutan melebihi batas kelarutan (KSP) (Ariyanto, 2015). Pupuk struvite memiliki keunggulan ekonomis karena biaya produksinya jauh lebih rendah dibandingkan dengan pupuk buatan pabrik. Selain itu, penggunaan pupuk urine juga dapat meningkatkan pertumbuhan, biomassa, dan kandungan klorofil tanaman. Pupuk alami ini juga mengurangi jumlah serangga yang mati karena penggunaan pupuk kimia. Penelitian oleh Ohlinger (2018) membuktikan bahwa penggunaan urine manusia sebagai pupuk tidak membahayakan higienisasi tanaman.

Kalsium juga memiliki peran penting dalam membentuk lamela tengah dinding sel sebagai Capektat. Fungsinya adalah memperkuat jaringan tumbuhan dan menjaga integritas membran yang melindungi sitoplasma, vakuola, inti sel, dan komponen lainnya, terutama dalam lingkungan dengan pH rendah (Djukri, 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak suhu dan rasio molar dalam proses pembentukan struvite, serta untuk menilai bagaimana penambahan ion kalsium mempengaruhi pembentukan kristal struvite yang dapat diaplikasikan sebagai pupuk.

METODE PENELITIAN

Bahan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset, UPN "Veteran" Jawa Timur dengan bahan baku limbah urine, kalium hidroksida (KOH), magnesium klorida (MgCl₂), kalsium klorida (CaCl₂) dan aquadest.

Alat

Alat utama yang digunakan ialah magnetic stirrer, alat penunjang yang digunakan antara lain kertas saring, beaker glass, erlenmeyer, pipet, gelas ukur, dan corong kaca.

Prosedur

Pembuatan struvite

Limbah urine yang berasal dari manusia ditampung didalam botol dan di saring kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 300 ml. Pada penelitian pembentukan kristal struvite mengambil kandungan NH₄ dan PO₄ dari limbah urine manusia, sedangkan untuk Mg dan Ca mendapat tambahan dari bahan kimia murni. Kemudian menghitung volume urine sebagai bahan baku, perbandingan Mg:PO₄:Ca. Buat rasio perbandingan konsentrasi Mg:PO₄:Ca sebesar 1:1:0, 1:1:1, 3:1:1. Kemudian limbah ditambahkan larutan KOH sebagai pengatur pH limbah yang diinginkan pada pH 9.

Nyalakan kompor dan atur suhu pada suhu operasi yang telah ditentukan dengan menggunakan TC (temperature control) sebesar 30°C, 35°C, dan 40°C. Larutan diaduk dengan kecepatan 100 rpm

dengan variabel waktu 60 menit. Setiap 5 menit dilakukan pengecekan pH untuk memastikan pH tetap 9. Hasil yang berada di gelas beaker kemudian disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh endapan. Keringkan endapan lalu catat berat endapan. Setelah itu, lakukan analisa XRF untuk mendapat kadar fosfat serta analisa SEM pada hasil yang terbaik untuk melihat morfologi dari struvite yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa kandungan struvite

Hasil yang telah diperoleh dari penelitian dianalisis dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan SEM (*Scanning Electro Microscope*) di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Laboratorium Sentral) Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.

Tabel 1. Mutu pupuk fosfat untuk pertanian

Persyaratan	Kadar P ₂ O ₅ (% b/b)
Mutu A	Min. 28
Mutu B	Min. 24
Mutu C	Min. 14
Mutu D	Min. 10

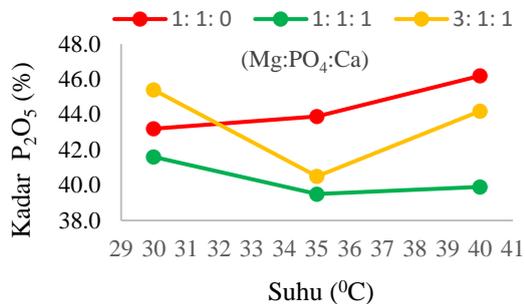
Tabel 2. Persen berat fosfat setelah dilakukan analisa XRF

Variabel	Suhu(°C)	Kadar	Persen Berat (%)
1:1:0	30	P ₂ O ₅	43,20%
	35		43,90%
	40		46,20%
1:1:1	30	P ₂ O ₅	41,6%
	35		39,50%
	40		39,90%
3:1:1	30	P ₂ O ₅	45,40%
	35		40,50%
	40		44,20%

Hasil kadar P₂O₅ tertinggi tanpa penambahan CaCl₂ pada rasio molar (Mg:PO₄:Ca) 1:1:0, suhu 40°C dengan persen berat sebesar 46,2%. Sedangkan, dengan penambahan CaCl₂ didapat hasil tertinggi dengan rasio molar (Mg:PO₄:Ca) 3:1:1, suhu 30°C dengan persen berat sebesar 45,4%. Hal ini dikarenakan, menurut (Liu et al, 2019) diketahui bahwa Ca dalam larutan mempengaruhi laju pertumbuhan senyawa kristal, pertumbuhan ini disebabkan oleh pembentukan lapisan di mana kristal dapat terbentuk. Dalam proses ini, kalsium berfungsi sebagai pengisi yang menutup celah-celah pada kristal, mencegahnya bersentuhan dengan inti kristal struvite, dan akhirnya menghambat pertumbuhan struvite tersebut.

Kadar P_2O_5 terhadap rasio molar dan suhu pembentukan struvite

Penentuan kadar abu bertujuan untuk menentukan kandungan oksida logam dalam arang aktif.



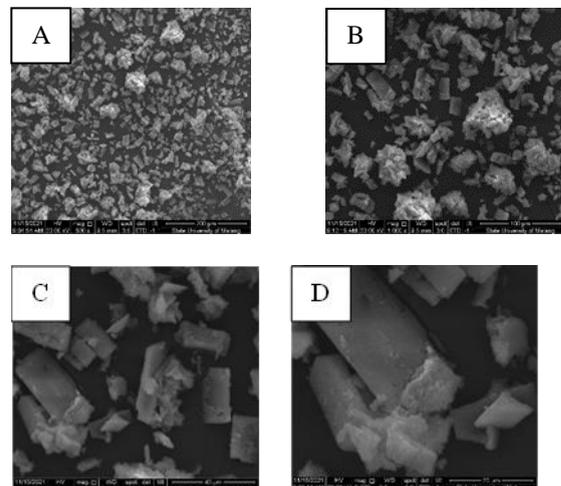
Gambar 1. Pengaruh suhu dan perbandingan molar terhadap kadar P_2O_5

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada suhu 40°C kadar P_2O_5 struvite yang diperoleh sebesar 46,2% pada perbandingan molar 1:1:0 dan merupakan yang tertinggi diantara yang lain. Pada suhu 35°C cenderung mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan suhu yang diberikan berpengaruh terhadap proses pembentukan struvite. Dimana apabila temperatur larutan pada 30°C kemudian mengalami penurunan temperature sampai 10°C struvite kristal akan dengan mudah terbentuk didalam larutan (Agustinah, 2016). Berdasarkan hasil penelitian kondisi optimum adalah pada suhu 30°C, karena hasil kadar P_2O_5 yang didapat lebih stabil dibandingkan pada suhu 35°C dan 40°C. Hal ini dikarenakan pada suhu yang tinggi, proses persaingan antara ion hydroxyl (OH^-) dengan ion-ion PO_4 akan semakin cepat dan mempercepat proses pembentukan material baru karena proses pemanasan tersebut (Edahwati et al, 2021)

Rasio molar reaktan merupakan faktor yang signifikan dalam proses pembentukan kristal struvite, yang terjadi karena adanya kandungan fosfat di dalamnya. Penggunaan perbandingan molar ini bertujuan untuk memahami bagaimana struvite terbentuk dari urine manusia dengan pH 9. Dari hasil penelitian didapatkan hasil optimum pada perbandingan molar 1:1:0 dengan kadar P_2O_5 pada suhu 40°C sebesar 46,20%. Dari hasil struvite yang didapatkan sudah memenuhi standar kualitas pupuk fosfat grade A yang minimal 28% P_2O_5 (Perwitasari, 2020). Perbedaan kadar P_2O_5 yang didapat dipengaruhi oleh kadar Magnesium. Karena, semakin banyak magnesium yang direaksikan maka kadar P_2O_5 yang didapat semakin tinggi (Adnan, 2010). Pada perbandingan molar 3:1:1 kadar P_2O_5 yang didapat lebih tinggi dibandingkan perbandingan molar 1:1:1. Hal ini sudah sesuai teori bahwa magnesium dapat meningkatkan kadar P_2O_5 yang diperoleh.

Analisis SEM

Dari hasil analisa XRF pada rasio molar 1:1:0 suhu 40°C didapatkan kadar P_2O_5 tertinggi dan telah memenuhi standar mutu pupuk fosfat alam untuk pertanian grade A. Oleh karena itu, untuk mengetahui morfologi dari kristal struvite yang terbentuk maka dilakukan analisa SEM.



Gambar 2. Hasil analisa SEM material struvite pada kondisi suhu 40°C dan rasio molar 1:1:0 dengan perbesaran (A) 500x (B) 1000x (C) 2500x (D) 5000x

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Fitriana (2016), kristal struvite murni memiliki bentuk ortorombik dengan permukaan yang rata dan bebas cacat. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa kristal struvite yang dihasilkan memiliki bentuk batang memanjang, tetapi permukaannya tidak halus dan terdapat gumpalan-gumpalan kecil. Kehadiran gumpalan-gumpalan ini disebabkan oleh pengaruh ion Ca^{+} (Liu, 2019). Dalam analisis ini, peneliti menggunakan perbesaran 500, 1000, 2500, dan 5000 dengan harapan melihat karakteristik kristal struvite secara lebih rinci. Karakteristik kristal struvite dipengaruhi oleh kandungan di dalamnya. Kristal struvite yang lebih kecil memiliki luas permukaan total yang lebih besar, mempercepat kelarutan zat dan meningkatkan proses penyerapan nutrisi pupuk. Karena struvite merupakan pupuk lepas lambat, ukuran kristal yang lebih besar menyebabkan nutrisi pada pupuk diserap lebih lambat oleh tanaman (Sutiyo, 2021).

SIMPULAN

Kristal struvite memiliki bentuk batang yang memanjang, tetapi permukaannya kasar dengan adanya gumpalan-gumpalan kecil berwarna putih. Pada kondisi optimal, yaitu pada suhu 40°C dan rasio molar ($Mg:PO_4:Ca$) 1:1:0, struvite yang dihasilkan memiliki kandungan P_2O_5 sebesar 46,2%. Hal ini memenuhi standar kualitas pupuk fosfat grade A.

Kandungan P_2O_5 tertinggi tercapai pada rasio molar ($Mg:PO_4:Ca$) 1:1:0 dengan suhu $40^\circ C$, sedangkan pada rasio molar 1:1:1 dan 3:1:1 pada suhu $30^\circ C$ masing-masing sebesar 41,6% dan 45,4%. Penurunan kandungan P_2O_5 pada rasio molar lainnya disebabkan oleh penghambatan pertumbuhan kristal struvite oleh ion Ca^+ , sehingga diperlukan penambahan unsur magnesium agar kandungan P_2O_5 yang terbentuk dapat meningkat.

SARAN

Diperlukan penelitian serupa dengan variasi perbandingan konsentrasi $Mg:NH_4:PO_4$ dan variabel yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, namun menggunakan limbah yang berbeda sebagai bahan baku. Selain itu, studi fundamental mengenai kinetika reaksi atau perpindahan massa dari penelitian ini juga perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Adnan, M. Dastur, D. S. Mavinic, and F. A. Koch, "Preliminary investigation into factors affecting controlled struvite crystallization at the bench scale," *J. Environ. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 195–202, 2010, doi: 10.1139/S03-082.
- A. D. Ramadhani, A. F. Kuliando, and L. Edahwati, "Kinetika reaksi perolehan fosfat dari pengolahan limbah garam (bittern) menjadi struvite dengan reaktor vertikal Kinetics reaction of phosphate recovery from processing of waste salt (bittern) into struvite using vertical reactor," *J. Tek. Kim.*, vol. 27, no. 1, pp. 14–20, 2021.
- A. N. Sari, "Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Molar Reaktan $Mg:PO_4$ Pada Pembentukan Struvite Kristal dari Urine Manusia," *Univ. MUHAMMADIYAH PALEMBANG*, vol. 18, no. 2, p. 22280, 2016.
- A. R. Fitriana and I. Warmadewanthi, "Penurunan Kadar Amonium dan Fosfat pada Limbah Cair Industri Pupuk," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- BSN, "SNI 02-3776-2005: Pupuk fosfat alam untuk pertanian," pp. 1–19, 2010.
- Djukri, "REGULASI ION KALSIMUM (Ca^{++}) DALAM TANAMAN," *Pros. Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA, Fak. MIPA, Univ. Negeri Yogyakarta*, pp. 56–61, 2011.
- E. Ariyanto, A. Melani, and T. Anggraini, "Penyisihan PO_4 Dalam air Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Pupuk Struvite," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November 2015, pp. 1–8, 2015.
- E. . Ohlinger, K.N., Young, T.M., Schroeder, "Perceived Negative Effects on Project Stakeholders From," no. July, pp. 413–422, 2018.
- L. Edahwati, Sutiyono, and R. R. Anggriawan, "Pembentukan Pupuk Struvite dari Limbah Cair Industri Tempe dengan Proses Aerasi," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 2, pp. 215–221, 2021.
- N. W. Sari, F. A. Putri, and D. S. Perwitasari, "A Manufacture of Phosphate Fertilizer from Cow Bones Waste," *Int. J. Eco-Innovation Sci. Eng.*, vol. 1, no. 02, pp. 25–29, 2020.
- T. I. Agustinah, "Pengaruh pH dan Temperatur terhadap Pembentukan Struvite dari Urine Manusia," *Univ. MUHAMMADIYAH PALEMBANG*, vol. 18, no. 2, p. 22280, 2016.
- Wiyono, E. Hartoyo, and Mahananto, "Efisiensi Pemakaian Pupuk Urin Manusia Pada Pertumbuhan Dan Hasil Padi Sawah," *J. Ilm.*, vol. 15, no. 1, 2015.
- X. Liu and J. Wang, "Impact of calcium on struvite crystallization in the wastewater and its competition with magnesium," *Chem. Eng. J.*, vol. 378, no. July, p. 122121, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.122121.