

Sintesis dan Karakteristik *Struvite* dengan Proses *Bubble* (*Synthesis and Characteristics of Struvite by Bubble Process*)

Maria Vindri Vincensia Saru¹, Mutiya Zevi¹, Luluk Edahwati^{2*}

¹ Program Studi Teknik Kimia UPN Veteran Jawa Timur, Jln. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin UPN Veteran Jawa Timur, Jln. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249, Indonesia

Inti Sari

Hasil reaksi antara magnesium, amonium, fosfat yang berbentuk kristal berwarna putih disebut *struvite* ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui karakteristik *struvite* dengan proses *bubble*, dan mengetahui rasio molar, serta pH yang terbaik untuk pembentukan *struvite*. Variabel peubah rasio molar menggunakan variasi rasio Magnesium Ammonium Phosphate MAP 1:1:1, 1,5:1:1, 2:1:1, 2,5:1:1, dan 3:1:1. Pembentukan *struvite* dilakukan menggunakan proses *bubble* yang berfungsi sebagai pengaduk, dengan laju aliran udara sebesar 1 L/Menit. Pembentukan mineral *struvite* dipengaruhi oleh pH yang akan berpengaruh pada kelarutan, sehingga digunakan variabel peubah sebesar 7, 8, 9, 10, dan 11 untuk menentukan kondisi terbaik pembentukan *struvite*. Hasil analisa penelitian diperoleh kondisi terbaik pembentukan *struvite* untuk kandungan magnesium dalam kondisi pH 9 menggunakan rasio molar 1:1:1 diperoleh sebesar 10%. Kandungan unsur fosfat pembentukan *struvite* diperoleh kondisi terbaik dalam pH 9 dan rasio molar 3:1:1 sebesar 69,5%. Hal tersebut terjadi karena pada pH 7-8 pembentukan *struvite* belum optimal, dan pada pH 10 mulai menurun karena meningkatnya impurities. *Struvite* yang terbentuk memiliki karakteristik berbentuk batang dan ujung runcing, permukaannya rata, dengan kandungan unsur Mg sebesar 10% dan kandungan fosfat sebesar 69,5%.

Kata Kunci : karateristik, *struvite*, sintesis, *bubble*

Key Words : *characteristics, struvite, synthesis, bubble*

Abstract

The product of the reaction of magnesium, ammonium, phosphate in the form of white crystals is called *struvite* ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). The purpose of this study was to use the bubble method to characterize *struvite* and determine the optimal molar ratio and pH for *struvite* formation. The molar ratio variables used variations of the Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) ratio of 1:1:1, 1.5:1:1, 2:1:1, 2.5:1:1, and 3:1:1.

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Email :

jcpe@umi.ac.id

*Corresponding Author

lulukedahwati@gmail.com



Journal History

Paper received : 31 Maret 2022

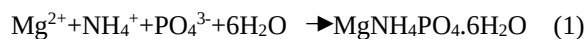
Received in revised : 26 April 2022

Accepted : 27 Mei 2022

Structural testing of struvite is carried out with a bubble process that works as a stirrer with an air flow rate of 1 L/minute. Structural minerals are influenced by pH, which will affect their solubility, so that the variables of 7, 8, 9, 10, and 11 are used to determine the best conditions for struvite formation. The results of the research analysis showed that optimal conditions for struvite formation of magnesium content were achieved at pH 9 conditions using a 1: 1: 1 molar ratio of 10%. Phosphate content in struvite formation was best obtained at pH 9 and a 3: 1: 1 molar ratio of 69.5%. This happens because at pH 7-8 the formation of struvite is not optimal, and at pH 10 it begins to decrease due to impurities. The struvite formed has the characteristics of being rod-shaped with pointed ends. The surface is flat with an elemental Mg content of 10% and a phosphate content of 69.5%.

PENDAHULUAN

Kristal berwarna putih yang mengandung magnesium, amonium, fosfat disebut *struvite*. *Struvite* mempunyai rumus molekul yaitu $(\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$. *Struvite* terbentuk apabila terjadi reaksi antara magnesium, amonium, dan fosfat [2]. Persamaan reaksi pembentukan *struvite* ditunjukkan di bawah ini:



Secara murni, *struvite* diidentifikasi berstruktur batang dan ujungnya berbentuk runcing, serta bagian permukaannya bersih tidak cacat [7]. Berdasarkan data dari [12], standar mineral *struvite* mengandung 9% magnesium; fosfor 12,62% dan nitrogen 5,71%. Kelarutan *struvite* 0,052 gram / 100 ml H_2O pada suhu 20 °C dan tekanan 1 atm, dengan berat molekul *struvite* 245,43 g/mol. *Struvite* mempunyai *specific gravity* 1,7 [5]. Namun, *struvite* adalah senyawa yang tidak stabil secara termal di udara pada suhu di atas 50° C dan dapat kehilangan sebagian atau seluruh molekul amonia dan airnya tergantung pada suhu pemanasan [6]. Dalam proses pembentukan, *struvite* dipengaruhi oleh pH, laju aliran udara, rasio molar. Menurut [1] *struvite* bereaksi dalam kondisi pH basa (> pH 7).

Rumput, bibit atau benih pohon, tanaman hias, sayuran dan rumput taman serta gula bit membutuhkan magnesium dari *struvite* sebagai pupuk [8]. Selain itu, *struvite* dapat diaplikasi sebagai material pupuk di daerah banjir karena sifatnya yang tidak tercuci dengan air hujan. Sifat yang paling menguntungkan dari pupuk *struvite* yaitu lambat tingkat pelepasan nutrisi sehingga lebih ekonomis dikarenakan menghemat dalam pemberian pupuk pada tanaman [5].

Saat ini banyak dilakukan penelitian mengenai *struvite*, salah satunya yaitu sintesis dan karakteristik *struvite*. Penelitian sintesis dan karakteristik *struvite*

pernah dilakukan oleh [4] mengenai sintesa limbah biogas dengan hasil sintesa dan karakteristik *struvite* yang berbentuk otorombik. Hasil sintesa menunjukkan dalam kondisi pH 8 dan kecepatan aliran udara 0,5 L/menit, *struvite* memiliki kandungan fosfat 41,3% sedangkan pada kondisi pH 12 dan kecepatan aliran udara 1,5 L/menit kandungan magnesium diperoleh 6,1%. Namun, kandungan magnesium yang terkandung dalam *struvite* terlalu rendah dibandingkan dengan standar kandungan umum *struvite*, yaitu 9%.

Sintesis dan karakterisasi *struvite* pernah dilakukan oleh [9] mengenai sintesis dan karakterisasi *struvite* dari *brine water* dengan hasil *struvite* pada rasio molar 1:2:1 menunjukkan tedapatnya magnesium berlebih sehingga tidak sesuai dengan stoikiometri Mg:N:P. Magnesium berlebih muncul ketika disintesis dalam pH 10.

Pembentukan *struvite* dapat menggunakan reaktor berpengaduk dan proses *bubble*. Dalam penelitian ini digunakan proses *bubble* untuk mempercepat proses pembentukan *struvite* dengan mengalirkan udara ke larutan. Proses ini lebih baik dibandingkan dengan menggunakan reaktor berpengaduk. Sebab, *struvite* yang terbentuk dengan menggunakan reaktor berpengaduk dapat menempel pada pengaduk, sehingga *struvite* rentan memiliki bentuk yang tidak beraturan [3].

Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui karakteristik pembentukan *struvite* dengan proses *bubble*, dan mengetahui rasio molar, serta pH yang terbaik untuk pembentukan *struvite*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian menggunakan alat utama reaktor dengan pengadukan proses *bubble*, terdiri dari reaktor yang dilengkapi dengan, aerator, selang, flowmeter, stabilizier, kompresor, dan pH meter.

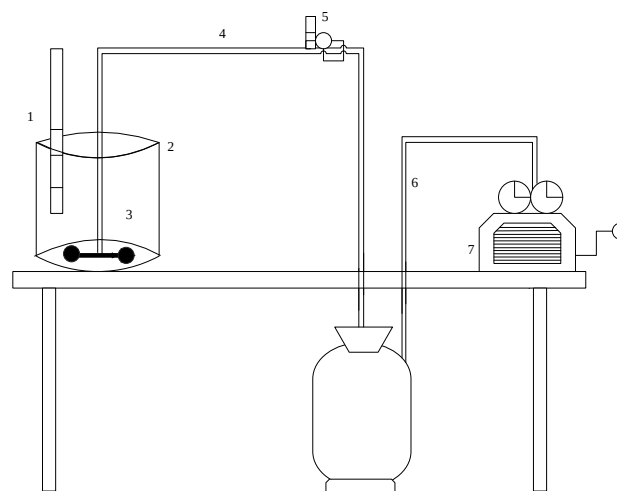
Penelitian ini menggunakan bahan utama meliputi MgCl_2 (Arkito Chemicals), H_3PO_4 (Merck, 85%), NH_4OH (Arkito Chemicals, 21%), dan NaOH (Repack by Alkitos, 2N), serta aquadest atau H_2O

Tabel 1. Kondisi Variabel Tetap dan Variabel Bebas

Variabel Tetap	Variabel Bebas
1. Konsentrasi NaOH 2N1.	Derajat kebasaaan
2. Laju aliran udara 1 L/menit	dengan rentang pH 7, 8, 9, 10, dan 11.
3. Waktu pengeringan2. endapan struvite 48 jam	Rasio molar dengan rentang 1:1:1, 1,5:1:1, 2:1:1, 2,5:1:1, dan 3:1:1.

Prosedur Penelitian

Reaktor aerasi dilakukan pengisian dengan magnesium, fosfat dan ammonium hidroksida dengan perbandingan konsentrasi 1:1:1. Pengaliran udara menuju reaktor dilakukan dengan menyalakan kompresor dan rate udara diatur dengan kecepatan yang ditetapkan. Masukkan larutan NaOH 2N secara berkala dengan menggunakan rangkaian alat reaktor aerasi sehinga pH campuran Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) tercapai sesuai dengan pH yang diinginkan. Setelah pH sesuai proses dihentikan. Endapan *struvite* dikeringkan dalam suhu ruangan selama 48 jam. Lakukan Analisa menggunakan SEM-EDX, dan XRF.



Gambar 1. Skema reaktor menggunakan pengadukan dengan proses *bubble*

Keterangan:

1. pH meter
2. Reaktor

3. Aerator
4. Selang
5. Flowmeter
6. Stabilizer Kompresor

HASIL DAN PEMBAHASAN

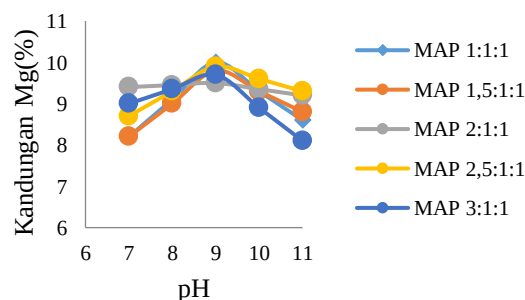
Sebagai hasil dari penelitian ini, analisis XRF (*X-ray fluorescence*) kandungan *struvite* dilakukan.

Tabel 2. Hasil analisa XRF kandungan *struvite*

Rasio molar	Unsur (%)	pH				
		7	8	9	10	11
1:1:1	Mg	8.2	9.1	10	9.3	8.6
	P	54.3	61.3	68.3	63	57.7
1,5:1:1	Mg	8.2	9	9.8	9.3	8.8
	P	68.1	68.4	68.7	65.95	63.2
2:1:1	Mg	9.4	9.45	9.5	9.35	9.2
	P	61.3	65.25	69.2	67.4	65.5
2,5:1:1	Mg	8.7	9.3	9.9	9.6	9.3
	P	63.8	65.9	68	67.6	67.2
3:1:1	Mg	9	9.35	9.7	8.9	8.1
	P	58.4	63.95	69.5	63.25	57

Kandungan unsur *struvite* terutama terbentuk dalam pH 9 dan perbandingan molar 1:1:1, yakni unsur Mg terbentuk 10% dan unsur P terbentuk 69,5%.

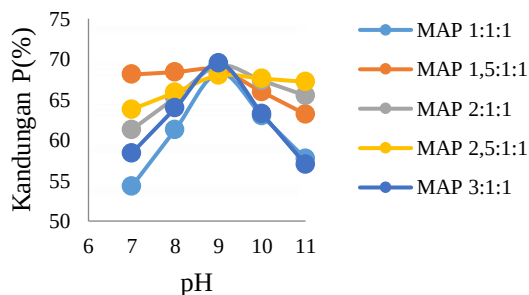
Pengaruh pH terhadap pembentukan *struvite*



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap kandungan unsur Mg dalam *struvite*

Gambar kedua menjelaskan hubungan pH dengan kandungan unsur Mg. Kandungan magnesium cenderung meningkat pada pH 7 hingga pH 9. Tetapi di atas pH 10 kandungan unsur magnesium mengalami penurunan. Hal ini disebabkan di atas pH 10

kandungan mineral *struvite* telah menurun karena meningkatnya jumlah impurities yang terbentuk pada pH tinggi [5]. Pada pH di atas 10 cenderung terbentuk $Mg(OH)_2$, yang menyebabkan berkurangnya ketersediaan ion Mg sehingga menurunkan hasil pembentukan *struvite* [2]. Kondisi terbaik kandungan unsur magnesium dalam pembentukan *struvite* diperoleh pada pH 9.

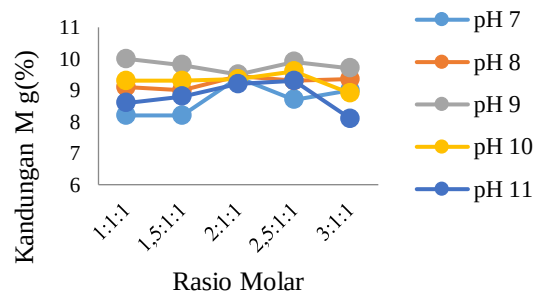


Gambar 3. Pengaruh pH terhadap kandungan unsur P dalam *struvite*

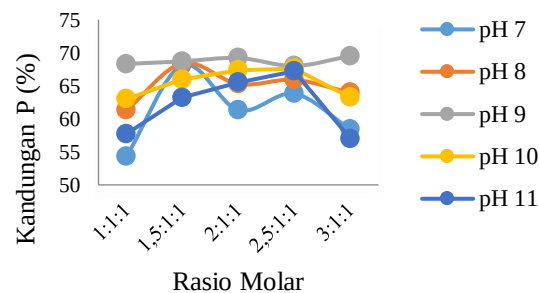
Gambar ketiga menjelaskan korelasi pH terhadap kandungan unsur P. Unsur fosfat meningkat pada pH 7 hingga pH 9, dan mengalami penurunan pada pH di atas pH 10. Kondisi terbaik kandungan unsur fosfat dalam *struvite* diperoleh di kondisi pH 9. Hal ini terjadi karena pada pH 7 dan 8 pembentukan *struvite* dapat dikatakan belum optimal sedangkan di atas pH 10 kandungan *struvite* telah menurun karena meningkatnya jumlah impurities yang terbentuk pada pH tinggi [5]. Aktivitas ion mulai menurun saat pH di atas pH 10 sehingga terjadi penurunan konsentrasi fosfat [11].

Pengaruh rasio molar terhadap pembentukan *struvite*

Gambar keempat menjelaskan kandungan magnesium dengan rasio molar 2:1:1 cenderung mengalami peningkatan, sedangkan rasio molar 3:1:1 mengalami penurunan. Keadaan ini dikarenakan magnesium yang ditambahkan bisa menimbulkan risiko terhadap peningkatan kejenuhan larutan dan berperan dalam peningkatan pembentukan *struvite*. Kandungan unsur magnesium pada kondisi pH 9 diperoleh persentase magnesium tertinggi dengan rasio molar 1:1:1 sebesar 10%.



Gambar 4. Pengaruh rasio molar terhadap kandungan unsur Mg dalam *struvite*



Gambar 5. Pengaruh rasio molar terhadap kandungan unsur P dalam *struvite*

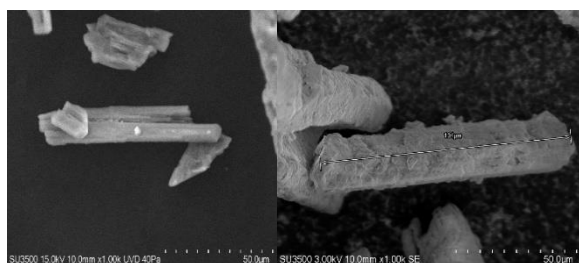
Penelitian *struvite* ini memvariasikan rasio molar dengan variasi magnesium. Apabila semakin banyak rasio magnesium yang ditingkatkan, maka semakin banyak Mg^{2+} yang berikatan dengan PO_4^{3-} sehingga menghasilkan lebih banyak fosfat yang berikatan dengan *struvite* [10]. Perolehan persentase fosfat terbaik berada di pH 9 dengan rasio molar 3:1:1 sebesar 69,5%.

Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDX (Energy Dispersive X-ray spectroscopy) *Struvite*

Jenis kristal *struvite* yang terbentuk, komposisi kimia, dan karakteristik permukaan kristal dapat diidentifikasi menggunakan analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray spectroscopy* (EDX).

Berdasarkan teori *struvite* mempunyai struktur berbentuk batang dan ujungnya berbentuk runcing, serta bersih di bagian permukaannya (*no defects*) [7]. Penelitian ini dengan kondisi pH 9 dengan rasio molar 1:1:1 yang terlihat dalam gambar 6.a didapatkan kristal *struvite* dengan bentuk batang dan ujung

runcing, serta permukaannya rata. Namun bagian permukaannya terdapat sedikit gumpalan kecil. Gumpalan yang terdapat pada *struvite* adalah mineral-mineral lain yang terbentuk selama proses pembentukan *struvite* karena adanya ion-ion pengganggu. Mineral pengotor tersebut dari hasil analisa EDX berupa aluminium, natrium, dan klorida. Ion natrium terdapat dalam *struvite* disebabkan penelitian ini menambahkan natrium hidroksida (NaOH) untuk mengontrol pH menjadi pH basa. Selain itu, adanya ion klorida disebabkan penelitian ini menggunakan bahan baku magnesium yang berasal dari $MgCl_2$

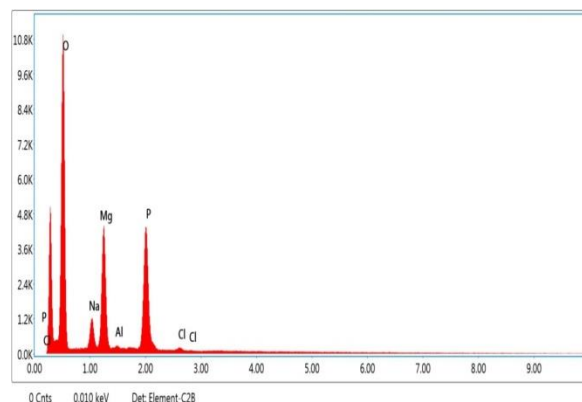


a

b

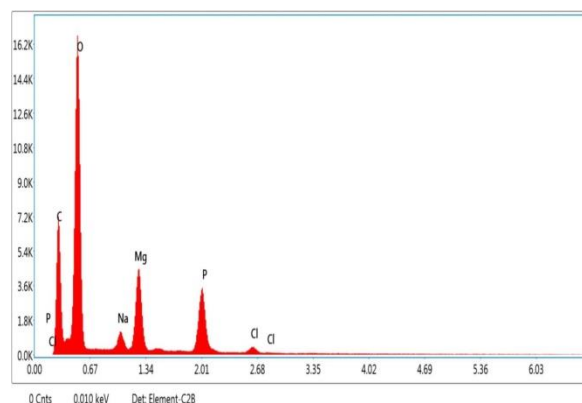
Gambar 6. Karakteristik *struvite* dari hasil analisa SEM a. kondisi pH 9 dengan rasio molar 1:1:1, b. kondisi pH 9 dan rasio molar 3:1:1

Sementara itu, hasil analisa SEM dengan kondisi pH 9 dan rasio molar 3:1:1 yang terlihat pada gambar 6.b menunjukkan kristal *struvite* dengan berbentuk batang dengan bentuk ujung tidak runcing dan permukaannya ditutupi dengan pengotor. Mineral pengotor yang terbentuk yaitu natrium, carbon, dan klorida. Hal ini dikarenakan penambahan magnesium menyebabkan meningkatnya jumlah *impurities* yang terkandung didalam *struvite* sehingga mempengaruhi kemurnian *struvite*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi penambahan magnesium mempengaruhi karakteristik *struvite*. Semakin meningkat penambahan magnesium maka banyak jumlah *impurities* yang terkandung didalam *struvite* sehingga mempengaruhi kemurnian *struvite* yang mengakibatkan bentuk *struvite* kurang optimal. Hal ini dapat dilihat dari kenyataan bahwa rasio molar 3:1:1 pada pH 9 menghasilkan bentuk kristal kurang baik dibandingkan rasio molar 1:1:1 dan pH 9. Karakteristik *struvite* di kondisi rasio molar 1:1:1 pada pH 9 bentuknya mirip dengan *struvite* murni.



Gambar 7. Hasil analisa elemen-elemen yang terkandung dalam *struvite* menggunakan EDX pada kondisi pH 9 dan rasio molar 1:1:1

Struvite pada kondisi pH 9 rasio molar Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) 1:1:1 diperoleh hasil kandungan komponen *struvite* sebesar 52,13% oksigen; 18,06% magnesium; 22,29% fosfat dan senyawa lain berupa 6,44% natrium; 0,43% aluminium serta 0,65% klorida.



Gambar 8. Hasil analisa elemen-elemen yang terkandung dalam *struvite* menggunakan EDX pada kondisi pH 9 dan rasio molar 3:1:1

Struvite pada kondisi pH 9 rasio molar Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) 3:1:1 diperoleh hasil kandungan komponen *struvite* sebesar 44,35% oksigen; 10,13% magnesium; 12,16% fosfat dan senyawa lain berupa 28,87% carbon, 2,9% natrium; 1,59% klorida.

KESIMPULAN

Struvite yang terbentuk mempunyai karakteristik berbentuk batang dengan ujung runcing, dan permukaannya rata, tetapi masih ada sedikit gumpalan kecil. Kandungan unsur Mg terbaik dalam *struvite* diperoleh dalam kondisi pH 9 dan rasio molar 1:1:1 sebesar 10%. Kandungan fosfat terbaik dalam pembentukan *struvite* diperoleh di kondisi pH 9 dengan rasio molar 3:1:1 yaitu 69,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada Ibu Luluk Edahwati yang sudah membantu pada proses penyelesaian dan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur terlebih khusus Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik yang sudah memfasilitasi tempat penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Ariyanto, A. Melani, and T. Anggraini, “Penyisihan PO₄ Dalam Air Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Pupuk Struvite”, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2015, pp. 1-8.
- [2] E. Ariyanto, K. T. Sen and M. H. Ang, “The Influence of Various Physico-Chemical Process Parameters on Kinetics and Growth Mechanism of Struvite Crystallisation”, *Advanced Powder Technology*, vol. 25, no. 2, pp. 682 – 694, 2014, DOI:10.1016/j.apr.2013.10.014.
- [3] E. Ariyanto, Y. Niyati, D. Kharismadewi, and Robiah, “.Kinetika Pembentukan Struvite Kristal Menggunakan Zeolit Alam sebagai Adsorben pada Aeration Cone Column Crystallizer”, *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 14, no. 1, pp. 60–73, 2020, doi : <https://doi.org/10.22146/jrekpros.49406>.
- [4] E. Prismaella, A. A. Wijaya, L. Edahwati, “Sintesa Limbah Biogas Sebagai Bahan Pembentuk Struvite Menggunakan Reaktor Sekat Secara Sinambung”, *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XVI*, Program Studi Teknik Kimia UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, 2020. pp. C.3-1-6. <http://snsb.upnjatim.ac.id/index.php/snsb/article/view/27>
- [5] H. Septiani, N. Zahra, Sutiyono and L. Edahwati, “Pengolahan Bittern sebagai Pembentuk Pupuk Struvite Menggunakan Reaktor Sekat Secara Sinambung”, *Jurnal Metalurgi dan Material Indonesia (JMMI)*, vol. 3, no.1, pp. 1-7, 2020. <https://www.materialmetalurgi.id/index.php/JMMI/article/view/80>.
- [6] I. Kabdaşlı and O. Tünay, “Nutrient recovery by struvite precipitation, ion exchange and adsorption from source-separated human urine—a review”, *Environmental Technology Reviews*, vol. 7, no. 1, pp. 106-138, 2018, doi: 10.1080/21622515.2018.1473504.
- [7] K. Suguna, M. Thenmozhi, M, and C. Sekar, “Growth, spectral, structural and mechanical properties of struvite crystal grown in presence of sodium fluoride”, *Bull. Mater. Sci.*, vol. 35, no. 4, pp. 701–706, 2012, doi:10.1007/s12034-012-0322-6.
- [8] M. T. Adiman, A. Feriyanto, Sutiyono and L. Edahwati, “Mineral Struvite dari Batuan Dolomit dengan Reaktor Kolom Sekat”, *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 14, no. 2, pp. 85-91, 2020, doi: https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2034.
- [9] P. D. Putra “Sintesis dan Karakterisasi Struvite dari Brine Water”, *Fakultas MIPA UNES*, 2013.
- [10] R. A. Fitriana, and I. Warmadewanthi, “Penurunan Kadar Amonium dan Fosfat pada Limbah Cair Industri Pupuk”, *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. F107-111, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16523.
- [11] Warmadewanthi & J. C. Liu, ‘Recovery of phosphate and ammonium as struvite from semiconductor wastewater’, *Separation and Purification Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 368–373, 2009, doi:10.1016/j.seppur.2008.10.040.
- [12] Wenrich Minerals Inc, “Struvite Mineral Data”, *Wenrich Minerals*, 2021 [Online]. Tersedia: <http://www.webmineral.com/data/Struvite.shtml#.Yn4CXOhBzIU> [Diakses 26 april 2022].