

Meningkatkan Daya Saing Industri Pupuk: Mengubah Limbah Cair Equalizer Menjadi Sumber Daya Terbarukan

Luluk Edahwati^{a*}, Sutiyono^b, Indah NF^c

^a Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

^b Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

^c Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Email Korespondensi: lulukedahwati@gmail.com

[Phone: +62 87854408347](tel:+6287854408347)

Abstrak: Industri pupuk memiliki peran penting dalam menunjang ketahanan pangan dan pembangunan berkelanjutan. Namun, proses produksinya menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting bagi industri pupuk untuk mengelola limbah cairnya dengan baik dan menerapkan praktik produksi yang ramah lingkungan untuk meminimalkan dampak negatifnya. Dengan kandungan ammonia yang tinggi didalam limbah (5999 ppm) dapat diolah kembali menjadi pupuk struvite dengan penambahan fosfat dan magnesium dalam rasio 1:1:2 dan 2:1:1. pH diatur pada kisaran 7-11. Running dilakukan pada temperatur 30oC dengan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm. Kondisi terbaik didapatkan pada rasio 2:1:1 serta pH 9. Dalam kondisi ini struvite yang terbentuk sebesar 56%.

Keywords : limbah; meneral; reaktor berpengaduk, struvite

1. PENDAHULUAN

Peningkatan nilai tambah limbah yang terdapat didalam bak equalizer dapat meningkatkan daya saing industri. Hal ini menunjukkan bahwa industri yang mampu memanfaatkan limbah equalizer secara optimal dapat menghasilkan produk yang lebih murah dan ramah lingkungan, sehingga dapat meningkatkan daya saingnya di pasar global. Air limbah dalam equalizer industri pupuk mengandung konsentrasi amonium dan fosfat yang tinggi. Kandungan mineral yang terdapat didalam limbah tersebut diantaranya ammonia (5999 mg/L), fosfat 4180,33 mg/L jauh lebih besar dibandingkan dengan kandungan lainnya seperti silika 0,83 mg/L, magnesium 0,11 mg/L, kalsium 0,06 mg/L [9]. Air limbah yang kaya dengan fosfat dan amonium dapat digunakan sebagai sumber sekunder untuk memproduksi pupuk struvite [16].

Di era industri modern, limbah menjadi salah satu isu yang krusial. Di satu sisi, limbah dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan berbagai masalah kesehatan. Di sisi lain, limbah juga memiliki potensi untuk diubah menjadi sumber daya yang berharga [10]; [8].

Industri pupuk merupakan sektor penting dalam menunjang ketahanan pangan dan pembangunan berkelanjutan. Namun, proses produksi pupuk seringkali menghasilkan limbah cair yang mengandung berbagai macam pencemar, seperti logam berat, senyawa organik, dan nitrogen. Limbah cair ini jika tidak diolah dengan baik dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia [3].

Limbah cair industri pupuk yang terdapat dalam bak equalizer banyak sekali mengandung senyawa nitrogen, senyawa ini mudah terurai didalam air dan dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air. Eutrofikasi yang disebabkan oleh senyawa nitrogen yang mudah terurai merupakan masalah serius serta berdampak negatif pada lingkungan, kesehatan manusia, dan ekonomi. Upaya pencegahan dan pengendalian eutrofikasi harus dilakukan secara berkelanjutan untuk menjaga kelestarian badan air dan melindungi kesehatan masyarakat [15]. Salah satu cara yakni dengan menambahkan fosfat dan magnesium dalam perbandingan 1:1:1 [4] agar dapat dirubah menjadi pupuk struvite. Pupuk struvite merupakan solusi ramah lingkungan untuk ketahanan pangan [5]. Struvite dapat membantu mengurangi pencemaran air, meningkatkan kesuburan tanah, dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Penggunaan pupuk struvite dapat mendorong pertanian berkelanjutan dan berkontribusi pada kelestarian lingkungan [2].

Pupuk struvite disebut juga dengan pupuk slow release [11]. Pupuk slow release merupakan inovasi dalam dunia pertanian yang menawarkan efisiensi, kemudahan, dan manfaat lingkungan [7]. Dengan memahami cara kerja dan keuntungannya, kita dapat memilih pupuk slow release yang tepat untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan berkelanjutan.

Struvite atau magnesium ammonium phosphate hexahydrate merupakan mineral berbentuk kristal putih berbentuk batang dengan ujung runcing yang terbentuk dari reaksi magnesium, amonium, dan fosfat dengan konsentrasi molar sama sehingga membentuk $(\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ [6]. Dengan reaksi sebagai berikut : $\text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4^{3-} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Reaksi pembentukan struvite kristal terjadi apabila konsentrasi magnesium, amonium dan phosphate dalam larutan melebihi solubility product (KSP) [4]. Struvite terbentuk melalui proses pengendapan yang melibatkan proses fisik-kimia membentuk endapan yang dapat dipisahkan dari larutan. Terbentuknya struvite melalui dua tahap, yaitu nukleasi dan pertumbuhan [1]. Nukleasi terjadi ketika ion-ion pembentuk struvite bereaksi membentuk inti endapan. Selanjutnya inti kristal yang terbentuk akan tumbuh sampai kondisi kesetimbangan. Nukleasi menyatakan bahwa ketika kelarutan dari larutan telah melewati titik jenuh (supersaturated), molekul - molekul mulai mengumpul dan membentuk cluster. Cluster ini akan mencapai ukuran tertentu yang disebut dengan critical cluster. Penambahan molekul lebih lanjut ke critical cluster akan melahirkan inti kristal (nucleus). Untuk menjadi inti kristal yang stabil maka cluster harus mempunyai ketahanan terhadap kecenderungan untuk melarut kembali. Inti bertumbuh menjadi lebih besar dengan penambahan molekul solut dari larutan lewat jenuh. Phenomena ini disebut pertumbuhan kristal (*crystal growth*) [13].

Reaktor berpengaduk merupakan salah satu alat yang sering digunakan untuk proses kimia yang berkelanjutan serta merupakan alat yang dapat digunakan dalam proses pencampuran bahan yang efisien. Alat ini dirancang khusus untuk memfasilitasi pencampuran reaktan secara homogen, yang berarti bahwa setiap bagian dari campuran mendapat paparan yang sama terhadap suhu dan konsentrasi reaksi. Ini penting karena reaksi kimia yang homogen biasanya menghasilkan produk yang lebih konsisten dan berkualitas tinggi [12].

METODE DAN BAHAN

2.1 Bahan

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah cair dari industri pupuk yang mengandung amonium sebanyak 5999 mg/L. Selanjutnya, MgCl_2 padat dengan tingkat kemurnian 98% digunakan sebagai sumber magnesium untuk membentuk struvite. H_3PO_4 dalam bentuk cair dengan konsentrasi 98% juga digunakan sebagai tambahan untuk membentuk struvite dalam limbah cair dari industri pupuk tersebut. Untuk mengontrol pH dalam proses pembentukan kristal struvite, digunakan larutan NaOH 1 N. Air demineralisasi digunakan sebagai pelarut untuk NaOH, MgCl_2 , dan untuk mengencerkan bahan-bahan tersebut

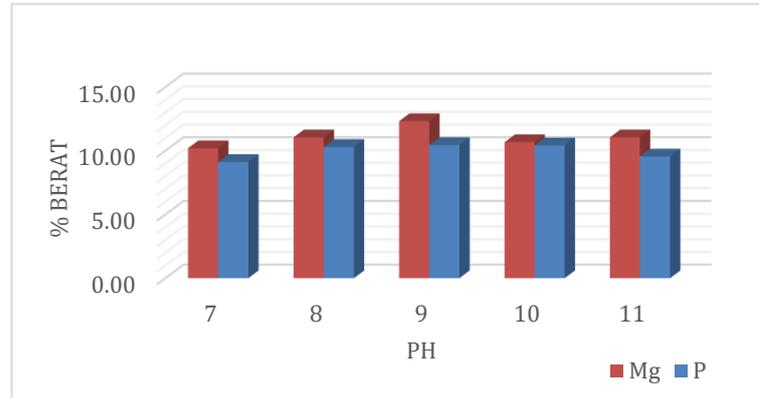


Gambar 1: Rangkaian alat penelitian

2.2 Metode

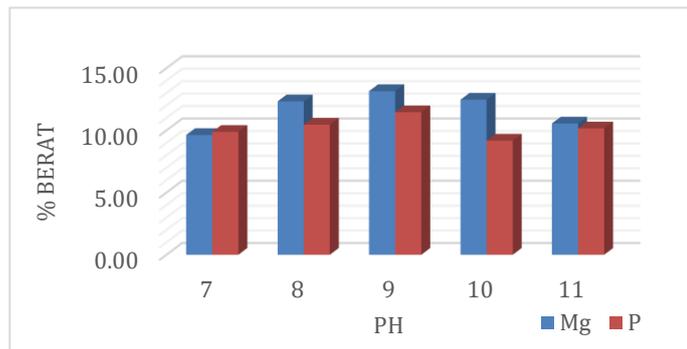
Proses pencampuran dimulai dengan memasukkan bahan-bahan ke dalam tangki berpengaduk sesuai dengan rasio MAP (Magnesium Ammonium Phosphat) yang telah ditentukan yaitu 1:1:2 dan 2:1:1. Selanjutnya, pengaduk diaktifkan untuk memulai gerakan pencampuran. Gerakan pengadukan menciptakan aliran dalam tangki, yang mengakibatkan interaksi antara partikel-partikel bahan. Partikel-partikel ini bergerak, saling bertabrakan, dan saling berinteraksi. Selama proses pencampuran kecepatan putaran pengaduk dijaga konstan sebesar 200 rpm, suhu juga dijaga pada 30°C. pH dalam proses pembentukan struvite dilakukan pada range 7 – 11. Kontrol pH dilakukan dengan menambahkan NaOH (1 N). Setelah kristal struvite sudah mulai terbentuk (ditandai dengan adanya endapan berwarna putih) proses pengadukan tetap dilakukan selama ± 30 menit atau sampai kondisi ajeg. Langkah selanjutnya melakukan pemisahan antara filtrat dan endapan (struvite) kemudian dikeringkan dalam suhu ruangan, setelah itu dilakukan analisa terhadap endapan menggunakan XRF dan SEM.

2. HASIL DAN DISKUSI



Gambar 2: Pengaruh pH terhadap perolehan Mg dan P dengan rasio molar 1:1:2

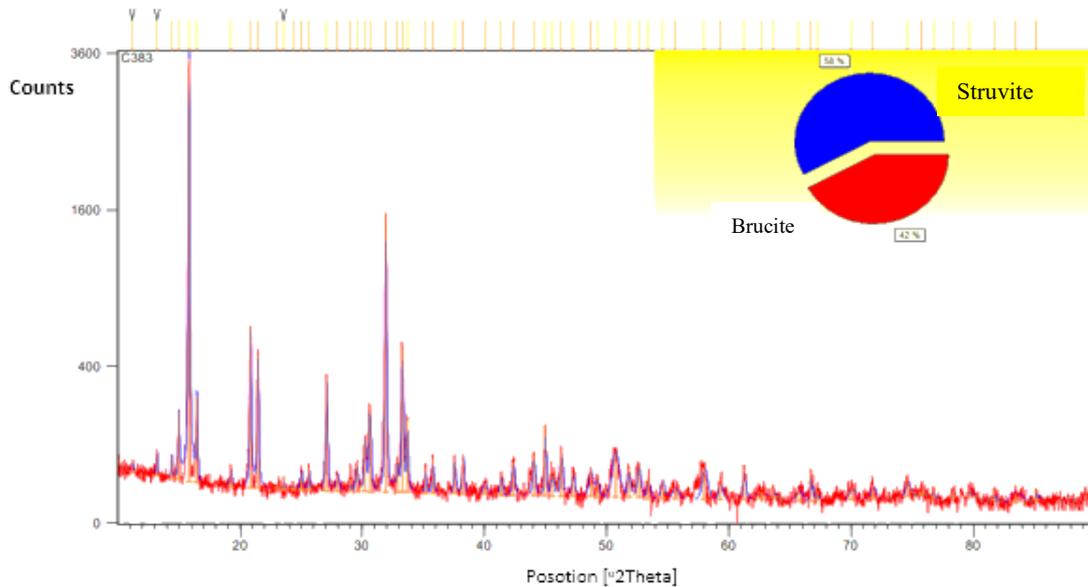
Dari gambar 2 menunjukkan bahwa pH 9 memberikan kondisi optimal untuk pengendapan struvite. Hal ini berarti bahwa pada pH ini, persentase berat Mg dan P yang terpresipitasi dalam bentuk struvite mencapai nilai tertinggi. Dimana Pada pH 9, kelarutan ion Mg dan P berada pada tingkat yang ideal untuk pembentukan struvite. Ion Mg tidak terlalu terikat pada senyawa lain, dan ion P tidak terlalu terprotonasi. Hal ini memungkinkan ion-ion tersebut untuk berinteraksi dengan mudah dan membentuk struktur struvite yang stabil. Artinya, ion hidrogen (H^+) dapat menempel pada ion fosfat, mengurangi muatan negatifnya dan mengurangi kemungkinan berinteraksi dengan ion magnesium (Mg^{2+}) untuk membentuk kristal struvite [14]. Dengan demikian Pengendalian pH merupakan faktor kritis dalam proses pengendapan struvite. pH 9 memberikan kondisi optimal untuk mencapai efisiensi pengendapan tertinggi dan menghasilkan persentase berat Mg dan P yang maksimal. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi pengendapan secara signifikan karena kelarutan ion Mg dan P yang tidak ideal dan laju reaksi pengendapan yang lebih lambat.



Gambar 3: Pengaruh pH terhadap perolehan Mg dan P dengan rasio molar 2:1:1

Struvite, atau Magnesium Ammonium Phosphate ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), merupakan senyawa mineral yang terbentuk dari reaksi kimia antara magnesium (Mg), amonia (NH_4^+), dan fosfat (PO_4^{3-}). Senyawa ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai pupuk organik dan agen pengikat fosfor dalam air limbah. Proses pembentukan struvite, yang dikenal sebagai pengendapan struvite, dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu yang terpenting adalah pH. Pengendalian pH sangat penting dalam proses pengendapan struvite untuk mencapai hasil yang optimal. pH 9 memberikan hasil terbaik dalam hal efisiensi pengendapan Mg dan P. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi pengendapan karena kelarutan Mg dan P yang tidak ideal.

Pelepasan Mg^{2+} terjadi terutama pada 30 menit pertama dan melambat setelah pH larutan mencapai 10,7. Peningkatan pH yang cepat dapat dijelaskan oleh hidrosilasi MgO menjadi $Mg(OH)_2$, dan selanjutnya pelepasan Mg^{2+} , dan OH^- ke dalam larutan. Menurut mekanisme hidrasi MgO yang diusulkan oleh [14], pelepasan Mg^{2+} dan OH^- berhenti ketika konsentrasinya mencapai lewat jenuh, dimana $Mg(OH)_2$ mengendap dan menutupi partikel sehingga mencegah hidrosilasi MgO lebih lanjut



Gambar 4: Hasil XRD dari Material Struvite pada pH 9 dan rasio molar 2 : 1 : 1

3. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, proses perolehan struvite dari limbah cair industri pupuk merupakan solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah limbah industri sambil menyediakan pupuk yang berguna bagi sektor pertanian. Pengendapan struvite tidak hanya membantu dalam pengelolaan limbah dengan mengurangi kandungan polutan berbahaya seperti amonium dan fosfat dari air limbah, tetapi juga menghasilkan produk bernilai yang dapat digunakan kembali sebagai pupuk. Struvite ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) merupakan senyawa yang mengandung magnesium, amonium, dan fosfat, yang semuanya adalah nutrisi penting bagi pertumbuhan tanaman. Dengan mengekstraksi struvite dari limbah cair, industri tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti eutrofikasi di badan air, tetapi juga menciptakan sumber pupuk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan mengoptimalkan parameter seperti pH, rasio molar, suhu, serta pengadukan dapat digunakan dalam meningkatkan efisiensi dan hasil dari proses pengendapan struvite. Sehingga dengan memperhatikan dan menyesuaikan parameter-parameter tersebut, proses perolehan struvite dapat dilakukan dengan efisiensi tinggi, menghasilkan pupuk yang bermanfaat sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari limbah cair industri pupuk. Pendekatan ini tidak hanya mengatasi masalah limbah, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan dengan menyediakan sumber nutrisi yang dapat diperbarui untuk tanaman.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adiman, Thareq M. Feriyanto, A. Sutiyono. dan Edahwati L. 2020. "Mineral Struvite dari Batuan Dolomit dengan Reaktor Kolom Sekat". Jurnal Teknik Kimia. Vol 14. No 2.
- [2] Ana Pérez-Piqueres, *Agronomy* 2023, 13(5), 1391; <https://doi.org/10.3390/agronomy13051391>
- [3] Amelinda T.A, Novirina H.,(2022). WASTEWATER TREATMENT OF NPK FERTILIZER INDUSTRY USING SEQUENCING BATCH REACTOR AND GRANULAR ACTIVATED CARBON, *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*.
- [4] Ariyanto dkk. 2015. Penyisihan PO_4 Dalam Air Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Pupuk Struvite, Palembang. Universitas Muhammadiyah
- [5] Babcock-jackson-et-al-2023-sustainable-fertilizers-publication-landscape-on-wastes-as-nutrient-sources-wastewater
- [6] Doyle, J. D. dan Parsons, S. A. 2002 "Struvite Formation, Control And Recovery". *Water Research*. Vol.36 No.16.
- [7] Hendrix dkk, The Potential Of Palm Waste Biochar For Slow Release Fertilizer, *Journal Of Innovation And Applied Technology* Volume 08, Number 01, 2022
- [8] M. M. Manzoor (2020), *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future*. Springer
- [9] Iswarani dan Warmadewanthi. 2018. "Recovery Fosfat dan Amonium Menggunakan Teknik Presipitasi Struvite". *Jurnal Teknik ITS*. Vol 7. No.1
- [10] Kumar, S., & Agrawal, A. (2020). Recent trends in solid waste management status, challenges, and potential for the future Indian cities – A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 225.
- [11] Peter J. Talboys, 2016, Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management?, *Plant*

Soil (2016) 401:109–123

- [12] Perry, R. H., & Green, D. W. (2007). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). McGraw-Hill.
- [13] Schneider, A. dan Ali, Md Imtiaz. 2005. "Crystallization of Struvite from Metastable Region with Different Types of Seed Crystal". *Journal Non-Equilibrium Thermodynamics*. Vol.30
- [14] Stolzenburg et al, 2015, Struvite precipitation with MgO as a precursor: application to wastewater treatment *Chem. Eng. Sci.*, 133 (2015), pp. 9-15, 10.1016/j.ces.2015.03.00
- [15] [Wald, Chelsea (10 February 2022). "The urine revolution: how recycling pee could help to save the world". *Nature*. 602 (7896): 202–206. Bibcode:2022Natur.602..202W. doi:10.1038/d41586-022-00338-6
- [16] [Zohar, I. Ippolito, J. A. Massey, M. S. dan Litaor, I. M. 2017. "Innovative Approach for Recycling Phosphorous from Agrowastewaters Using Water Treatment Residuals (WTR)". *Chemosphere* 168: 234-243.