

Identifikasi Kelayakan Potensi Sumber Limbah Nutrien sebagai Bahan Baku *Struvite*

Mochammad Iffan Luthfianto^{1*}, Mirna Apriani¹, dan Ayu Nindyapuspa¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: iffan.luthfianto@student.ppns.ac.id

Abstrak

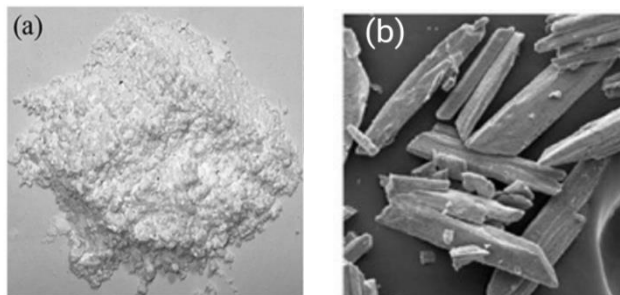
Terbatasnya ketersediaan nutrien terutama fosfat di alam, membuat *recovery* nutrien menjadi alternatif pilihan teknologi yang menarik. Teknologi *recovery* nutrien menjadi *struvite* ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) telah diuji kelayakannya di skala laboratorium. Uji telah dilakukan menggunakan beberapa sumber limbah dari beberapa sektor diantaranya; pertanian dan peternakan, industri, fasilitas pengolahan limbah, dan domestik. Selain itu, *review* ini juga akan menunjukkan beberapa penelitian yang telah menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor yang menurunkan nilai kelayakan sumber limbah sebagai bahan baku *struvite*. *Review* ini menggunakan sumber dari jurnal berskala nasional dan internasional dengan waktu publikasi kurang dari sepuluh tahun terakhir. Kata kunci yang digunakan diantaranya; “*Struvite*”, “Limbah Nutrien”, “Presipitasi”, dan kata kunci lain yang relevan dengan topik *review*. Hasil kajian *review* menyatakan kelayakan sumber limbah dapat dinilai dari tinggi atau rendahnya kandungan nutrien dalam air limbah dan kandungan pengotor di dalamnya. Limbah dengan kelayakan tinggi memiliki kandungan nutrien $>50 \text{ mg L}^{-1}$, dan kandungan padatan $<2000 \text{ mg L}^{-1}$. Kelayakan tinggi juga didapatkan dari sumber limbah dengan konsentrasi ion pengotor seperti logam berat yang rendah.

Keywords: Limbah Nutrien, Presipitasi, *Recovery*, *Struvite*

1. PENDAHULUAN

Struvite merupakan kristal berbentuk orthohombik berwarna putih. *Struvite* ditemukan juga dalam warna kuning kecoklatan. *Struvite* dalam air limbah umumnya ditemukan dalam bentuk magnesium, ammonium fosfat heksahidrat ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). *Struvite* terdiri dari satu molekul magnesium (Mg^{2+}), satu molekul ammonium (NH_4^+), satu molekul fosfat (PO_4^{3-}) dan enam molekul air (H_2O). *Struvite* memiliki massa molekul relatif 245,43 g/mol (Liu dkk., 2013). *Struvite* adalah pupuk dengan kandungan nutrien berpelepas lambat dan kelarutannya dalam air yang rendah. Tingkat kelarutan kandungan nutrisi dalam *struvite* yang lambat mencapai 0,2g/L dianggap lebih baik dibandingkan dengan pupuk jenis lain. *Struvite* dapat terbentuk melalui proses yang disebut proses presipitasi (Muryanto dkk., 2014).

Presipitasi *struvite* dapat menghilangkan 80-90% kandungan fosfat dan 20-30% kandungan ammonia dalam air limbah (Wong dkk., 2013). Proses presipitasi *struvite* memiliki beberapa kondisi optimum diantaranya pH dan rasio molar. pH yang umum digunakan sebagai variabel penelitian berkisar antara 8,0-12,0. Namun pH optimum berada di antara pH 9,5-10,5 dengan efisiensi penyisihan ammonium dan fosfat mencapai 93% (Muryanto dkk., 2014). Sedangkan rasio molar membutuhkan perbandingan yang seimbang dari setiap komponennya ($\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-}$) (Kabdasli dkk., 2018). *Recovery* ammonium efektif pada rasio molar $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} 1:1:1$ (Rahman dkk., 2011). Kedua faktor tersebut yang menjadi faktor utama proses presipitasi *struvite*. Faktor lain yang juga mempengaruhi diantaranya jenis reaktor yang digunakan, waktu operasi, kondisi operasi, dan *seed material* yang digunakan. Morfologi kristal *struvite* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kristal *struvite*, (a) Padatan kristal *struvite* (b) Morfologi SEM kristal *struvite* (Wang dkk., 2019; Azhan dkk., 2019)

Teknologi *recovery* nutrisi dengan metode presipitasi memiliki beberapa kelebihan sehingga dipilih menjadi alternatif. Keuntungan dari aspek lingkungan diantaranya menjaga kualitas badan air, mengurangi konsumsi air, rendah emisi GRK, mereduksi penggunaan *landfill*, dan mengurangi produksi limbah (Cassiano dkk., 2018; Shore dkk., 2017). *Recovery* nutrisi dari air limbah berdampak pada menurunnya emisi yang berkorelasi dengan konsumsi listrik yang digunakan. Hal ini dinilai baik jika dibandingkan dengan produksi pupuk konvensional pada umumnya (Villaruelo dkk., 2014).

Kurun waktu sepuluh tahun terakhir terdapat banyak penelitian terkait produksi *struvite* dari air limbah. Penelitian tersebut menghasilkan berbagai pembaruan seperti variasi sumber limbah dan kondisi operasi optimum presipitasi *struvite*. Namun dari pembaruan tersebut, belum ada *literature review* mengenai kelayakan sumber limbah yang digunakan sebagai bahan pembentuk kristal *struvite*. *Review* identifikasi kelayakan sumber limbah ini ditulis guna mengurangi potensi kesalahan penelitian di masa yang akan datang. Selain itu dapat mengoptimalkan penelitian-penelitian tentang limbah nutrisi sebelumnya menggunakan berbagai jenis sumber limbah yang berbeda. *Review* ini juga akan menyampaikan jenis-jenis sumber limbah apa saja yang layak digunakan, berikut juga dengan kelayakan karakteristiknya.

2. METODE

Tahapan yang pertama adalah melakukan studi literatur. Literatur yang sudah dikumpulkan selanjutnya akan dikaji. Masing-masing dari seluruh literatur akan dikaji dan dicari setiap kesamaan, perbedaan, dan dibandingkan. Tahapan selanjutnya adalah menggabungkan hasil dari seluruh hasil kajian. Salah satu tujuan yang bisa digunakan dalam *review* ini adalah memberikan rekomendasi untuk penelitian lanjutan. Isu-isu dan rekomendasi yang perlu dipertimbangkan secara seksama karena hal-hal tersebut merepresentasikan pemahaman yang diperoleh oleh peneliti sebelumnya yang berguna di masa yang akan datang. *Literature review* ini juga dapat dijadikan rujukan atau pembandingan dengan temuan baru di masa yang akan datang jika memang ditemukan hasil yang berbeda. Tujuan pada *review* kajian literatur ini yaitu didapatkan variasi sumber limbah dan kondisi terbaik dalam pembentukan kristal *struvite* dengan metode presipitasi. Referensi dalam *review* ini juga menggunakan literatur dengan waktu publikasi 10 tahun terakhir, ini dilakukan agar data yang didapatkan adalah data yang aktual dan paling mutakhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mempelajari tentang sumber potensi pembentukan kristal *struvite*. Sumber dapat dibagi menjadi tiga bagian utama diantaranya pertanian dan peternakan, limbah cair domestik, dan air buangan industri (Kataki dkk., 2016). Kelayakan limbah untuk dijadikan sumber pembentukan *struvite* sebelumnya telah dipelajari dan diuji dalam laboratorium. Limbah cair dari sumber peternakan terutama dari limbah cair kotoran babi yang mengandung ammonium dan fosfat dengan konsentrasi tinggi adalah kondisi terbaik dalam pembentukan *struvite* (Trang dkk., 2018). Banyak penelitian yang sudah berhasil dilakukan dalam memanfaatkan limbah cair ternak menjadi *struvite* (Zhao dkk., 2010). Karakteristik limbah nutrisi yang layak digunakan sebagai bahan *recovery struvite* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Kebutuhan Akumulasi, Pelepasan, dan *Recovery* berdasarkan Karakteristik Limbah

Karakteristik Limbah		Akumulasi Nutrien	Pelepasan Nutrien	<i>Recovery</i> Nutrien
Konsentrasi nutrisi	Tinggi >100 mg/L	+	++	+++
	Rendah <20 mg/L	+++	+	+
Nutrien terbentuk	Terlarut	+++	+	+++
	Padatan organik	++	+++	+
Kontaminan tidak terlarut	konsentrasi tinggi	++	++	+
Kontaminan terlarut	konsentrasi tinggi	+	+	+

+++ kebutuhan tinggi; ++ kebutuhan sedang; + kebutuhan rendah. (Sumber: Mehta dkk., 2015)

Tabel 1 menunjukkan bahwa teknik akumulasi nutrisi juga dibutuhkan saat konsentrasi nutrisi dalam keadaan rendah (<20 mg/L) namun memiliki debit yang tinggi. Teknik akumulasi pada limbah domestik pada umumnya telah dilakukan. Hal ini dikarenakan konsentrasi P dalam air limbah domestik umumnya terkarut dan dalam konsentrasi yang rendah 6-8 mg/L. Dengan debit yang tinggi konsentrasi P terlarut dalam air limbah dapat mencapai lebih dari 100 mg/L. Maka kandungan P dalam nutrisi lebih siap digunakan kembali dalam proses presipitasi. Perlu diperhatikan juga akumulasi tidak disarankan jika konsentrasi padatan dalam air limbah tinggi. Konsentrasi padatan seharusnya dipisahkan terlebih dahulu baik secara gravitasi maupun

secara filtrasi. Konsentrasi padatan yang tinggi dapat menurunkan kualitas kristal yang dihasilkan (Mehta dkk., 2015).

Saluran air limbah perkotaan memiliki kandungan konsentrasi fosfat sekitar 21-270 mg/L dan kandungan konsentrasi ammonia antara 168-1.400 mg/L (Kataki dkk., 2016). Dengan kondisi konsentrasi yang tinggi tersebut sangat mungkin untuk terbentuknya kristal *struvite* secara spontan. Beberapa penelitian melaporkan akumulasi kristal *struvite* pada jaringan pipa, pompa, dan perangkat lain. Limbah lindi *landfill* (Iaconi dkk., 2010), limbah cair domestik (Kumar dan Pal, 2013), lumpur anaerobik digester (Uysal dkk., 2010) dan urine manusia dengan kandungan nutrisi yang tinggi (Ronteltap dkk., 2010), telah dilakukan pengujian di laboratorium tentang kelayakannya sebagai sumber pembentuk *struvite*. Industri dengan karakteristik effluent nutrisi yang tinggi juga juga termasuk bagian dari sumber potensial pembentuk *struvite*.

Sumber limbah nutrisi apapun dapat digunakan sebagai bahan baku proses presipitasi *struvite*. Namun, konsentrasi ammonium dan fosfat yang terdapat dalam limbah tersebut harus tinggi. Sumber limbah dengan kandungan nutrisi dengan konsentrasi rendah maka kristal tidak akan terbentuk. Efek yang diberikan hanya penurunan kandungan nutrisi, tidak akan terbentuk kristal yang signifikan. Ukuran kristal yang dihasilkan cenderung kecil atau bahkan tidak terbentuk kristal. Hal ini sesuai dengan penelitian Mehta dkk., (2015); Wong dkk., (2013). Kedua penelitian tersebut menyatakan semakin tinggi kandungan nutrisi tersebut maka semakin besar pula potensi kristal *struvite* terbentuk. Pembentukan kristal *struvite* akan sulit terbentuk dalam proses presipitasi jika konsentrasi nutrisi dalam air limbah kurang dari 50 mg/L. Faktor lain yang mempengaruhi kelayakan sumber limbah tersebut adalah padatan tersuspensi dan logam berat. Kandungan padatan tersuspensi >2.000 mg/L yang terlarut di dalam air limbah dapat mengurangi efisiensi pembentukan kristal *struvite*. Penelitian pada limbah kotoran ternak menyatakan adanya padatan dapat menghalangi peningkatan ukuran kristal dalam pembentukan nukleasi primer. Adanya padatan juga akan mengurangi kemurnian pembentukan kristal (Tarrago dkk., 2018). Padatan juga akan mengurangi efisiensi *removal* kandungan ammonia dan fosfat dalam air limbah. Dampak positifnya padatan dapat menjadi awal mula pembentuk kristal sebagai *seed* material dan meningkatkan pengendapan (Liu dkk., 2011).

Tabel 1 menunjukkan proses *recovery* air limbah menjadi *struvite* menghindari adanya kontaminan terlarut maupun tidak terlarut. Logam berat yang terkandung dalam air limbah berpengaruh pada produk kristal yang dihasilkan. Efeknya akan berpengaruh pada saat penggunaan produk sebagai pupuk. Pupuk akan menjadi kontaminan berbahaya bagi tanaman. Akumulasi logam berat juga berbahaya bagi kesehatan hewan dan manusia baik dalam rantai makanan maupun dalam paparan langsung (kataki dkk., 2016). Efek dari masing masing logam berat terhadap proses pembentukan kristal *struvite* seperti Al, K, Cu, Ca, Cd, Zn, HCO₃, SiO₂. Juga ion *co-existing* seperti asam lemak, humus, asam laktat, antibiotik dan padatan tersuspensi. Langkah *pre-treatment* disarankan jika konsentrasi ion pengotor dan logam berat dalam air limbah dinilai tinggi. Masing masing ion memiliki pengaruh yang berbeda beda. Ion-ion tersebut berpengaruh pada morfologi kristal, struktur penyusun kristal, ukuran kristal, dan membentuk kristal jenis lain (*amorphus*). Ion ion tersebut juga memberikan hambatan pada proses induksi dan nukleasi saat presipitasi berlangsung. Hal ini terjadi karena ion pengotor bereaksi dengan ion magnesium, ammonium, dan fosfat (Muryanto dkk., 2014; Saidou dkk., 2015; Ikhlas, 2014, Anggrainy dkk., 2014; Hutnik dkk., 2013; Kozik dkk., 2013; Huichzermeier dan Tao 2012).

4. KESIMPULAN

Kelayakan sumber limbah yang digunakan sebagai bahan baku proses presipitasi *struvite* dapat ditinjau dari konsentrasi senyawa larutan didalamnya. Sumber limbah nutrisi layak digunakan jika memiliki konsentrasi ammonium dan fosfat lebih dari 50 mg L⁻¹. Sumber limbah juga dinilai layak jika memiliki konsentrasi padatan tersuspensi kurang dari 2.000 mg L⁻¹. Sehingga tidak mengganggu proses presipitasi *struvite*. Kandungan logam berat yang rendah juga merupakan karakteristik kelayakan suatu sumber limbah aman digunakan sebagai sumber bahan baku presipitasi *struvite*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Azhan, Ahmad., Gupta, Anirban., 2019. A Review Urine a source for struvite: nutrient recovery. *Journal Indian Chem*, Vol. 96, Hal. 507-514.
- Casiano Flores, C., Bressers, H., Gutierrez, C., de Boer, C., 2018. Towards circular economy – a wastewater treatment perspective, the Presa Guadalupe case. *Manag. Res. Rev*, Vol. 41, Hal. 554–571.
- di Iaconi, C., Rossetti, S., Lopez, A., Ried, A., 2011. Effective treatment of stabilized municipal landfill leachates. *Chem Eng J*, Vol. 168, Hal. 1085–1092.
- Huchzermeier, Matthew., & Tao, Wendong., 2012. Overcoming Challenges to Struvite Recovery from Anaerobically Digested Dairy Manure. *Water Environment Research*, Vol. 84, Hal. 34-41.
- Hutnik, N., Kozik, A., Mazienczuk, A., Piotrowski, K., Wierzbowska, B., Matynia, A., 2013. Phosphates (V) recovery from phosphorus mineral fertilizers industry wastewater by continuous struvite reaction crystallization process. *Water Res*, Vol. 47 (11), Hal. 3635–3643.

- Kabdaşlı, Nuray., Tunay, Olcay., 2018. Nutrient recovery by struvite precipitation, ion exchange and adsorption from source-separated human urine – a review. *Environmental Technology Reviews*, Vol. 7, Hal. 106-138.
- Kataki, S., West, H., Clarke, M., Baruah, D.C., 2016. Phosphorus recovery as struvite from farm, municipal and industrial waste: feedstock suitability, methods and pre-treatments. *Waste Manage*, Vol. 49, Hal. 437–454.
- Kozik, A., Hutnik, N., Piotrowski, K., Mazieniczuk, A., Matynia, A., 2013. Precipitation and crystallization of struvite from synthetic wastewater under stoichiometric conditions. *Adv. Chem. Eng. Sci*, Vol. 3, Hal. 20.
- Kumar, R., Pal, P., 2013. Removal of phenol from coke-oven wastewater by cross-flow nanofiltration membranes. *Water Environ Res*, Vol. 85(5), Hal. 447–455.
- Liu, B., A. Giannis, J. Zhang, V.W.C Chang., J.Y Wang., 2013. Characterization of induced struvite formation from source-separated urine using seawater and brine as magnesium sources. *Chemosphere*, Vol. 93(11), Hal. 2738-2747.
- Liu, Y.H., Kwag, J.H., Kim, J.H., Ra, C.S., 2011. Recovery of nitrogen and phosphorus by struvite crystallization from swine wastewater. *Desalination*, Vol. 277(1-3), Hal. 364–369.
- Mehta, C.M., W.O. Khunjar, V. Nguyen, S. Tait., D.J. Batstone., 2015. Technologies to recover nutrients from waste streams: A critical review. *Environmental Science and Technology*, Vol. 45(4), Hal. 385-427.
- Muryanto, S., Bayuseno, A.P., 2014. Influence of Cu^{2+} and Zn^{2+} as additives on crystallization kinetics and morphology of struvite. *Powder Technology*, Vol. 253, Hal. 602–607.
- Nurani, Ikhlas., 2014. Pengaruh pH, rasio molar, jenis presipitan, dan ion pengganggu dalam recovery amonium dan fosfat pada limbah cair pt petrokimia gresik dengan metode presipitasi struvite. *Tesis*. FTSLK ITS.
- Rahman, M.M., Liu, Y.H., Kwag, J.H., Ra, C.S., 2011. Recovery of struvite from animal wastewater and its nutrient leaching loss in soil. *J. Hazard. Mater*, Vol. 186 (2), Hal. 2026–2030.
- Ronteltap, M., Maurer, M., Hausher, R., Gujer, W., 2010. Struvite precipitation from urine influencing factors on particle size. *Water Res*, Vol. 44, Hal. 2038–2046.
- Saidou, H., Korchef, A., Moussa, S.B., & Amor, M.B., 2015. Study of Cd^{2+} , Al^{3+} , and SO_4^{2-} ions influence on struvite precipitation from synthetic wastewater by dissolved CO_2 degasification technique. *Journal of Inorganic Chemistry*, Vol. 5, Hal. 41–51.
- Shore, D., 2017. From waste treatment to resource recovery: A Chicago sustainability story. *MRS Energy Sustain*, Vol. 4, Hal. 1–10.
- Tarragó, Abella, Elena & Pepè Sciarria., Tommy & Rusalleda., Maël & Colprim., Jesús & Balaguer., Marilós & Adani., Fabrizio & Puig., Sebastià., 2018. Effect of suspended solids and its role on struvite formation from digested manure. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, Vol. 93 (9), Hal. 2758-2765.
- Trang, Nguyen., Yen, Le., Hanh, Le., Thanh, Bui., 2018. Struvite Formation from Wastewater: Affecting Factors and Nutrient Recovery. *GeoScience Engineering*, Vol. 64. Hal. 9-13.
- Uysal, A., Yilmazel, Y., Demirer, G., 2010. The determination of fertilizer quality of the formed struvite from effluent of a sewage sludge anaerobic digester. *J. Hazard. Mater*, 181 (1–3), 248–254.
- Villarroel, W.R., Beck, M.B., Hall, J.W., Dawson, R.J., Heidrich, O., 2014. The energy-water-food nexus: strategic analysis of technologies for transforming the urban metabolism. *J. Environ. Manag*, Vol. 141, Hal. 104–115.
- Wang, F., Fu, R., Lv, H., Zhu, G., Lu, B., Zhou, Z., Wu, X., Chen, H., 2019. Phosphate recovery from swine wastewater by a struvite precipitation electrolyzer. *Science Report*, Vol. 9, Hal, 8893.
- Wong, P.Y., Cheng, K.Y., Kaksonen, A.H., Sutton, D.C., Ginige, M.P., 2013. A novel post denitrification configuration for phosphorus recovery using polyphosphate accumulating organisms. *Water Res*, Vol. 47, Hal. 6488–6495.
- Zhao, Q., Zhang, T., Frear, C., Bowers, K., Harrison, J., Chen, S., 2010. Phosphorous Recovery Technology in Conjunction with Dairy Anaerobic Digestion. *CSANR Research Report*.