



Production of Struvite Fertilizer from Salt Pond Waste (Bittern) with The Aeration Process

Shafira Sarah Adzra[✉], Wahyu Bitra Pradana, Sri Redjeki

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.

Gedung FT-1, Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60294

Info Artikel

Diterima : 20-07-2024

Disetujui : 30-07-2024

Dipublikasikan : 26-08-2024

Keywords:

Aerasi

Amonium

Bittern

Struvite

Suhu

Abstrak

Produksi garam menghasilkan limbah cair yang dikenal sebagai "Bittern", yaitu larutan jenuh dengan kandungan mineral seperti Magnesium, Natrium, Fosfor dan beberapa mineral lainnya. Kandungan mineral di dalam Bittern dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pupuk Struvite. Pembentukan kristal Struvite dapat dilakukan menggunakan metode aerasi dengan menginjeksikan udara ke dalam air limbah menggunakan aerator. Proses dilakukan dengan mencampurkan ketiga larutan dengan kandungan mineral Magnesium, Amonium dan Fosfat ke dalam alat reaktor vertikal menggunakan variasi NH_4^+ berlebih sebesar 10%; 20%; 30%; 40%; 50% serta memvariasikan suhu sebesar 30°C; 40°C; 50°C; 60°C; 70°C. Kedua variabel dijalankan dengan mengalirkan laju udara sebesar 1 L/menit serta menjaga pH agar tetap pada pH 9. Proses dihentikan ketika pH sudah mencapai 9. Endapan yang terbentuk selanjutnya akan disaring kemudian dilakukan proses pengeringan pada suhu ruangan. Selanjutnya kristal struvite yang telah terbentuk akan di analisa dengan metode XRF dan juga SEM. Kondisi terbaik diperoleh pada Suhu 30°C dan NH_4^+ berlebih sebesar 50% yakni dengan kadar Mg sebesar 15% dan PO_4 sebesar 74,32%.

Abstract

Salt production produces liquid waste known as "Bittern", which is a saturated solution containing minerals such as Magnesium, Sodium, Phosphorus and several other minerals. The mineral content in Bittern can be used as raw material for making Struvite fertilizer. Crystal formation Struvite can be done using the aeration method by injecting air into waste water using an aerator. The process is carried out by mixing the three solutions containing the minerals Magnesium, Ammonium and Phosphate into a vertical reactor using a variation of NH_4^+ excess of 10%; 20%; 30%; 40%; 50% and varying the temperature by 30°C; 40°C; 50°C; 60°C; 70°C. Both variables are run by flowing air at a rate of 1 L/minute and maintaining the pH to remain at pH 9. The process is stopped when the pH reaches 9. The precipitate formed will then be filtered and then carried out a drying process at room temperature. Next, the struvite crystals that have been formed will be analyzed using XRF and SEM methods. The best conditions are obtained at a temperature of 30°C and an excess of NH_4^+ of 50%, namely with a Mg content of 15% and PO_4 of 74.32%.

Pendahuluan

Pada proses kristalisasi garam, *Bittern* seringkali dibuang begitu saja tanpa memperhatikan manfaat dan kandungan mineral yang ada pada *Bittern* tersebut. Unsur yang cukup tinggi pada *Bittern* adalah Magnesium. Menurut Edahwati, 2021 kadar Magnesium yang tinggi dalam *Bittern* dapat dimanfaatkan dengan cara melakukan *recovery* menggunakan NH_4^+ (amonium) dan PO_4^{3-} (fosfat) sehingga diperoleh *Struvite*. *Struvite* merupakan kristal putih dengan rumus kimia $(\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ (Ariyanto E, et al., 2019). *Struvite* dapat digunakan sebagai pupuk yang sifatnya tidak mudah larut dalam air. Sifat *struvite* yang tidak mudah larut dalam air menyebabkan pelepasan nutrisi terjadi secara perlahan (*slow release fertilizer*) sehingga pupuk *struvite* dapat diserap perlahan oleh tanah dan membuat pemupukan dapat lebih efisien serta ekonomis. Kristal *struvite* dapat terbentuk melalui dua tahapan antara lain nukleasi atau pembentukan inti kristal yang berlanjut pada tahap pertumbuhan inti kristal menjadi bentuk yang lebih sempurna. Nukleasi terjadi ketika Molekul Mg^{2+} , NH_4^+ dan PO_4^{3-} mengalami kontak satu sama lain sehingga membentuk inti kristal. Hal tersebut juga tentu dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, penambahan NH_4^+ , laju alir, dan kondisi pH. Pembentukan Kristal *Struvite* dapat dibantu dengan adanya aerasi. Aerasi bertujuan untuk mencapai keadaan homogen sehingga proses pembentukan kristal *struvite* dapat terjadi lebih cepat. Menurut Adiman, 2020 Gelembung-gelembung halus udara yang diberikan kedalam suatu larutan akan terus naik melewati larutan tersebut sehingga larutan akan bergejolak dan homogenitas pada suatu larutan lebih cepat tercapai. Metode penelitian ditulis secara rinci dan detil dengan menyertakan sumber-sumber terpercaya yang digunakan. Tabel dan gambar skema diacu dalam teks dengan mencantumkan sumbernya. Variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol penelitian disebutkan secara jelas dalam paragraf. Metode pengambilan sampel serta sampel dijelaskan dengan baik, serta langkah-langkah atau tahapan penelitian dijelaskan secara urut, dijelaskan pula bahan dan instrumen yang digunakan lengkap dengan spesifikasinya.

Metode

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat yang digunakan yakni berupa *beaker glass*, dilengkapi dengan *diffuser aerator* dan dirangkai di atas *hot plate* dengan bantuan alat statif dan juga klem. Adapun bahan baku utama yaitu limbah tambak garam (*Bittern*) yang diambil pada 29°Be sebagai sumber Magnesium, selanjutnya (NH_4OH) 25% sebagai sumber amonia dan (H_3PO_4) 85% sebagai sumber fosfat pada *struvite*. Pembentukan *struvite* dilakukan secara batch. Pupuk *struvite* yang diperoleh dari penelitian ini akan dilakukan Uji XRF dan Uji SEM-EDX.

Prosedur Penelitian

Preparasi bahan baku

Limbah tambak garam (*Bittern*), Amonium Hidroksida (NH_4OH), dan Asam Fosfat (H_3PO_4) disiapkan dalam *beaker glass* dan dilakukan pengukuran pH. Kemudian alat-alat dirangkai sehingga *beaker glass* yang telah dipasang *diffuser aerator* dapat diletakkan diatas *hot plate*.

Pembuatan pupuk struvite

Limbah tambak garam (*Bittern*), Amonium Hidroksida (NH_4OH), dan Asam Fosfat (H_3PO_4) yang telah disiapkan sebelumnya akan dituangkan ke dalam *beaker glass* utama dengan % *excess* NH_4^+ sebesar 10%; 20%; 30%; 40%; 50%. Kemudian suhu diatur menggunakan TC (*Temperature Control*) hingga mencapai suhu sebesar 30°C ; 40°C ; 50°C ; 60°C ; 70°C . Serta dialirkan udara melalui *diffuser aerator* dengan laju sebesar 1 L/menit. Ketika pH mencapai angka 9, dan mulai banyak terbentuk endapan kristal *struvite* pada dasar *beaker glass* maka proses dihentikan. Endapan yang terbentuk tersebut selanjutnya dilakukan penyaringan guna memisahkan produk dan filtrat. Endapan berupa cake basah akan dikeringkan pada suhu ruangan selama 48 jam.

Analisa Hasil Produk

Kristal *struvite* yang telah kering sempurna akan dilakukan analisa menggunakan Analisa SEM-EDX dan XRF. Analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui karakteristik, bentuk, serta kandungan dari kristal *struvite*. Sedangkan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan konsentrasi unsur yang terkandung dari *struvite*.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa kandungan mineral pada kristal *struvite* akan disajikan melalui tabel di bawah ini:

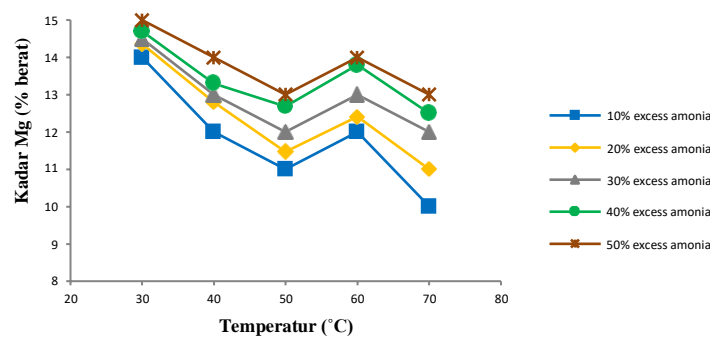
Tabel 1. Hasil Analisa XRF (*X-Ray Fluorescence*) Kandungan Material *Struvite* (% Berat)

| Suhu (°) | Komponen (%) | NH ₄ ⁺ Berlebih (% excess) | | | | |
|----------|--------------|--|-------|------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 30 | Mg | 14 | 14,36 | 14,5 | 14,7 | 15 |
| | P | 63,7 | 67,94 | 72,8 | 73,2 | 74,32 |
| 40 | Mg | 12 | 12,8 | 13 | 13,3 | 14 |
| | P | 61 | 66,3 | 71,6 | 72,3 | 73 |
| 50 | Mg | 11 | 11,47 | 12 | 12,68 | 13 |
| | P | 59,5 | 65,15 | 70,8 | 71,35 | 71,9 |
| 60 | Mg | 12 | 12,41 | 13 | 13,8 | 14 |
| | P | 60,8 | 66,05 | 71,3 | 72,2 | 73,1 |
| 70 | Mg | 10 | 11 | 12 | 12,5 | 13 |
| | P | 58,7 | 63,75 | 68,8 | 70 | 71,2 |

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa pembentukan kristal *struvite* terbaik terjadi pada kondisi operasi suhu 30 °C dengan %*excess* NH₄⁺ sebesar 50%. Dengan kandungan % Magnesium (Mg) dan % Fosfor (P) berturut-turut sebesar 15% dan 74,32%. Hasil *struvite* yang telah didapatkan ini telah sesuai dengan Standar Kandungan mineral Magnesium sebagai (MgO) yang telah diatur oleh Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 209/ kpts/ SR. 320/ 3/ 2018 tentang Standar Persyaratan Teknis Minimal Pupuk An-Organik, yakni bernilai minimal 9%. Selanjutnya untuk kandungan mineral Fosfor (P) pada *struvite* telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 02-2810-2005 tentang Pupuk Mono Amonium Fosfat, kandungan Fosfor (P) dalam *struvite* bernilai minimal 48%. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa *struvite* yang terbentuk pada suhu 30 °C dengan %*excess* NH₄⁺ sebesar 50% telah memenuhi standar karena kandungan Magnesium (Mg) lebih dari 9% dan kandungan Fosfor (P) lebih dari 48%.

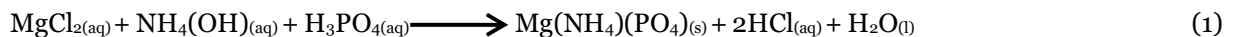
Analisa Grafik

Analisa Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Kandungan *Struvite*



Gambar 1. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Kadar Mg dengan Variasi %*excess* NH₄⁺

Berdasarkan Gambar 1. dapat diketahui bahwa kadar Mg pada kondisi suhu 30 °C; 40 °C; 50 °C; 60 °C; 70 °C cenderung mengalami penurunan mulai dari suhu 30 °C hingga pada suhu 50 °C dan mengalami sedikit peningkatan pada suhu 60 °C kemudian kembali mengalami penurunan pada suhu 70 °C. Pada penelitian ini didapatkan hasil paling maksimal yang terjadi pada suhu 30 °C dengan *excess* NH₄⁺ sebesar 50%. Pada kondisi tersebut diperoleh kadar Mg sebesar 15%. Pada setiap rentang suhu terjadi beberapa reaksi yang berbeda. Pada suhu 0 °C – 30 °C terjadi reaksi berikut:

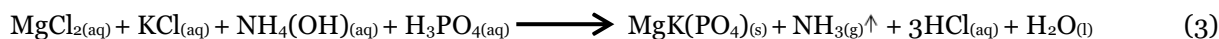


Menurut Corre, 2006 Suhu berpengaruh terhadap kelarutan *struvite*. Kelarutan *struvite* (Ksp) akan meningkat dari suhu 0 °C – 30 °C dan menurun pada suhu diatas (≥35 °C). Hal ini dikarenakan kelarutan (Ksp)

berhubungan dengan kondisi lewat jenuh (supersaturation) dari larutan dimana kristal dapat terbentuk, maka dari itu pembentukan *struvite* sulit dilakukan pada suhu tinggi dan lebih efektif pada kisaran suhu $\leq 30^\circ\text{C}$. Pada suhu normal $30^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$, akan terjadi reaksi berikut:

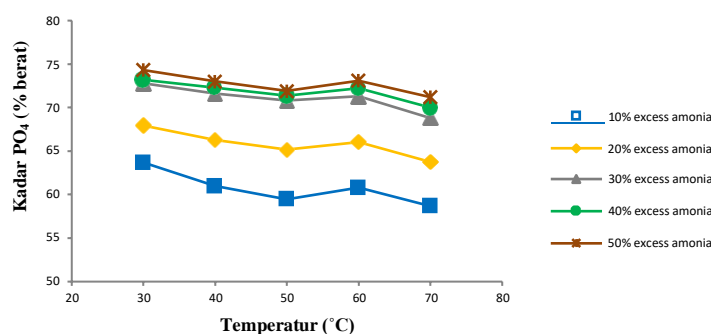


Selanjutnya, saat dilakukan pemanasan ($\geq 50^\circ\text{C}$) *Struvite* akan bertransisi membentuk K-*Struvite* yaitu reaksinya sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi diatas menunjukkan bahwa adanya potensi pembentukan kristal *struvite* yang tidak lagi murni seiring dengan kenaikan suhu. Menurut Kabdasli, 2022 menyatakan bahwa pada suhu ($\geq 50^\circ\text{C}$) amonia akan menguap perlahan yang menyebabkan transisi pembentukan kristal *struvite* MgNH_4PO_4 menjadi MgKPO_4 atau K-*struvite*. Suhu yang terus ditingkatkan akan menyebabkan K-*Struvite* mengalami dekomposisi dan dehidrasi menjadi $\gamma\text{-MgKPO}_4$ atau amorf pada suhu kisaran ($\geq 60^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$).

Hasil ini juga diperkuat dengan pernyataan Perwitasari, 2019 yaitu pengendapan MAP berkelanjutan dapat dilakukan dengan terjadinya pertukaran kation K^+ yang menggantikan kation NH_4^+ sebagai unsur yang setara menjadi MgKPO_4 atau K-*struvite*. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa pembentukan *struvite* pada suhu tinggi berpotensi menyebabkan terbentuknya komponen *struvite* yang tidak lagi murni seperti MgKPO_4 . Sehingga pada kondisi dan suhu operasi tertentu, kadar Magnesium akan tetap meningkat.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Kadar PO₄ dengan Variasi %*excess* NH₄⁺

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa kadar PO₄ pada kondisi suhu 30°C ; 40°C ; 50°C ; 60°C ; 70°C cenderung mengalami penurunan mulai dari suhu 30°C hingga pada suhu 50°C dan mengalami sedikit peningkatan pada suhu 60°C kemudian kembali mengalami penurunan pada suhu 70°C . Pada penelitian ini didapatkan hasil paling maksimal yang terjadi pada suhu 30°C dengan *excess* NH₄⁺ sebesar 50%. Pada kondisi tersebut diperoleh kadar PO₄ sebesar 74,32%. Pada setiap rentang suhu terjadi beberapa reaksi yang berbeda. Pada suhu $0^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ terjadi reaksi seperti pada persamaan 1.

Menurut Prasad, 2016 menyatakan bahwa suhu secara langsung mempengaruhi kelarutan kristal *struvite* sehingga berpengaruh pada produksi *struvite* dan morfologi kristal. Nilai Ksp untuk *struvite* mengalami peningkatan dari suhu $15^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ dan memiliki nilai yang fluktuasi antara 12,80 sampai 14,04. Nilai maksimal kelarutan *struvite* (Ksp) terjadi pada suhu 30°C yaitu sebesar 14,21. Oleh karena itu pembentukan *struvite* efektif dilakukan pada suhu ($\leq 30^\circ\text{C}$). Pada suhu normal $30^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$, akan terjadi reaksi seperti pada persamaan 2. Ketika dilakukan pemanasan ($\geq 50^\circ\text{C}$) *Struvite* akan bertransisi membentuk K-*Struvite* dengan reaksi pada persamaan 3.

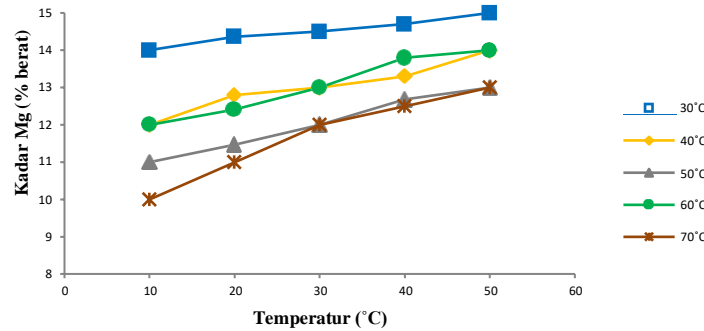
Berdasarkan reaksi diatas diketahui adanya potensi pembentukan Kristal *struvite* yang tidak lagi murni seiring dengan kenaikan suhu. Pada penelitian ini kadar fosfat mengalami sedikit peningkatan pada suhu 60°C . Menurut Sugiyama, 2005 menyatakan bahwa suhu yang semakin tinggi akan menyebabkan penguapan amonia semakin meningkat dan menyebabkan MAP terdekomposisi menjadi MgHPO_4 atau *Newberyite*. Reaksi pembentukan *Newberyite* adalah sebagai berikut :



Menurut Saerens, 2020 menyatakan bahwa pada suhu 60°C , MgHPO_4 atau *Newberyite* akan mulai terbentuk dengan kadar Magnesium dan Fosfat yang lebih tinggi dibandingkan kadar Magnesium dan Fosfat

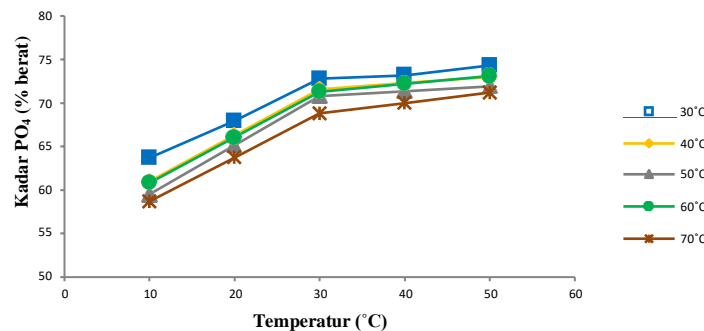
yang ada pada *struvite*. *Newberyite* memiliki struktur kristal yang tidak stabil seperti milik kristal *struvite* dan memiliki nilai Ksp yang rendah yaitu $1,58 \times 10^{-26}$ sehingga kristal *Newberyite* lebih sukar larut kembali ke dalam air dan lebih cepat mengendap dibandingkan dengan kristal *struvite* murni yang memiliki nilai Ksp $4,37 \times 10^{-14}$. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa pada kondisi dan suhu operasi tertentu, kadar Fosfat akan tetap meningkat namun dengan struktur *struvite* yang tidak lagi murni.

Analisa Pengaruh Variasi % excess NH_4^+ terhadap Kandungan



Gambar 3. Grafik Pengaruh %*excess* NH_4^+ terhadap Kadar Mg dengan Variasi Suhu

Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui bahwa kadar Magnesium (Mg) pada pemberian NH_4^+ berlebih (% *excess*) 10%, 20%, 30%, 40%, 50% mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya NH_4^+ . Pada penelitian ini hasil paling maksimal terjadi pada kondisi %*excess* NH_4^+ 50% dengan suhu 30°C dimana diperoleh kadar Magnesium sebesar 15%. Hasil ini dipengaruhi oleh pH pembentukan *struvite* yang meningkat seiring bertambahnya NH_4^+ . Hal ini dikarenakan NH_4^+ berperan sebagai peningkat pH dan menjaga pH pembentukan *struvite* agar tetap optimal pada pH 9 sehingga mampu meningkatkan endapan *struvite*. Menurut Moragaspiya, 2019 yaitu menyatakan NH_4^+ secara berturut-turut sebanyak 300 mg/L, 700 mg/L, dan 1100 mg/L menghasilkan kadar % Mg berturut-turut sebesar 86,9%, 88,7%, dan 91,7%. Hasil ini dikarenakan oleh adanya NH_4^+ berlebih yang bertindak sebagai penyangga pH untuk mencegah penurunan pH selama reaksi, sebab *struvite* akan terbentuk secara maksimal pada pH 9. Sehingga semakin besar NH_4^+ yang ditambahkan maka *struvite* yang terbentuk akan memiliki kandungan Mg yang semakin tinggi.

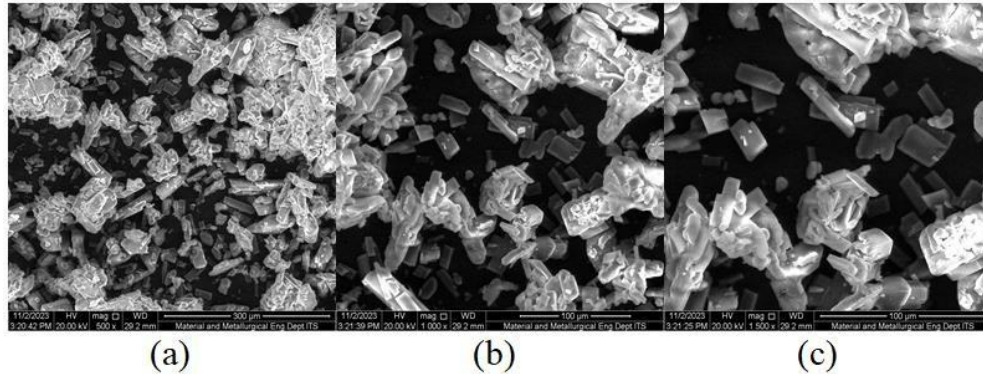


Gambar 4. Grafik Pengaruh NH_4^+ berlebih (% *excess*) terhadap Kadar PO_4 (% berat) pada berbagai suhu

Berdasarkan gambar 5 dapat diketahui bahwa kadar (Fosfat) PO_4 pada pemberian NH_4^+ berlebih (% *excess*) 10%, 20%, 30%, 40%, 50% mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya NH_4^+ . Pada penelitian ini didapati hasil paling maksimal yang terjadi pada *excess* NH_4^+ 50% pada suhu sebesar 30°C dengan kadar PO_4 sebesar 74,32%. Hasil ini dipengaruhi oleh pH pembentukan *struvite* yang meningkat seiring bertambahnya NH_4^+ . Hal ini dikarenakan NH_4^+ berperan sebagai peningkat pH dan menjaga pH pembentukan *struvite* agar tetap optimal pada pH 9 sehingga mampu meningkatkan produksi *struvite*. Menurut Li, 2022 menyatakan untuk penambahan NH_4^+ secara berturut-turut 250 mg/L, 500 mg/L, 750 mg/L, dan 1000 mg/L menghasilkan kadar PO_4 % berturut-turut sebesar 35,9%, 40,3%, 42,2% dan 44,6%. Pada hasil tersebut NH_4^+ bertindak sebagai penyangga pH yang mencegah penurunan pH selama reaksi sebab *struvite* akan terbentuk secara maksimal pada pH 9. Sehingga semakin besar NH_4^+ yang ditambahkan maka *struvite* yang terbentuk akan memiliki kandungan PO_4 yang semakin tinggi.

Analisa Morfologi dan Struktur Kristal *Struvite*

Pada penelitian ini, diperoleh hasil pembentukan *struvite* terbaik yaitu pada suhu 30°C dengan %*excess* NH_4^+ 50%. Hasil *struvite* yang telah dikeringkan memiliki penampilan fisik kristal berwarna putih yang tidak berbau. Hasil *struvite* terbaik dilakukan analisa lebih lanjut menggunakan metode SEM (*Scanning Electro Microscope*). Adapun hasil analisisnya adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Hasil SEM Kristal *Struvite* pada Suhu 30°C dengan Excess NH_4^+ 50% Menggunakan Perbesaran (a) 500x, (b) 1000x, (c) 1500x

Analisa SEM (*Scanning Electro Microscope*) bertujuan untuk mengetahui karakteristik permukaan, morfologi serta struktur kristal. Adapun perbesaran yang dilakukan antara lain 500x, 1000x, dan 1500x. Perbesaran tersebut dipilih agar struktur kristal dapat terlihat dengan jelas. Menurut Corre, 2006 menyatakan bahwa *struvite* merupakan padatan kristal berwarna putih dengan struktur *orthorombik* (bentuk batang dengan bagian garis batang yang tidak lancip).

Berdasarkan hasil analisis SEM dapat diketahui bentuk serta karakteristik dari kristal *struvite* yang didapatkan yaitu berwarna putih dan berupa *amorf* atau tidak beraturan. Hal tersebut dikarenakan pada *struvite* masih mengandung ion-ion pengotor yang ikut terbentuk pada pembentukan *struvite*. Ion-ion tersebut diantaranya ialah kalsium, sulfur, dan kalium. Menurut Prasad, 2016 menyatakan keberadaan ion kalsium akan mempengaruhi struktur kristal *struvite*, hal ini dikarenakan pada pH pembentukan *struvite* (pH 9) ion kalsium akan membentuk endapan kalsium fosfat ($\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{OH-HA}$) sehingga pembentukan *struvite* akan terganggu dan struktur *struvite* yang dihasilkan tidak dapat sempurna.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah didapat, maka dapat disimpulkan bahwa Suhu dan pemberian amonia berlebih pada proses aerasi berpengaruh terhadap karakteristik serta kadar Mg , PO_4 pada *struvite*. Suhu dan kadar amonia yang semakin tinggi menghasilkan *struvite* dengan karakteristik kristal berwarna putih dan tidak berbau diikuti dengan meningkatnya kadar Mg serta PO_4 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa *struvite* dari limbah bittern telah memenuhi SNI, dimana Kondisi pembentukan kristal terbaik terjadi pada Suhu 30°C dan NH_4^+ berlebih sebesar 50% yakni dengan kadar Mg sebesar 15% dan PO_4 sebesar 74,32%

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada orang tua kami yang telah memberikan semangat berupa dukungan secara moral maupun finansial selama berlangsungnya proses penelitian ini. Terimakasih juga kami sampaikan kepada pihak-pihak yang terlibat dalam berjalannya penelitian ini baik yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Referensi

- Adiman, T M, Feriyanto, A, Sutiyono & Edahwati, L, 2020, 'Mineral Struvite dari Batuan Dolomit dengan Reaktor Kolom Sekat', *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 14, No.2, hh. 85-91
- Ariyanto, E., Katerina, L. & Dwiyani, D.S, 2019 'Pengaruh pH dan Rasio Reaktan PO_4 : Mg terhadap Penurunan Kandungan PO_4 dalam Urine melalui Proses Pembentukan Struvite Kristal', *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, Vol.1, hh. 1-5.

- BSN. SNI – 02 – 2810 – 2005: 'Pupuk Mono Amonium Fosfat'. Jakarta
- Corre, K., 2006, *Understanding Struvite Crystallisation and Recovery*, University Cranfield, Cranfield .
- Edahwati, L., Sutiyono and Anggriawan, R.R. 2021 'Pembentukan Pupuk Struvite dari Limbah Cair Industri Tempe dengan Proses Aerasi', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 22, No. 2, hh. 215–221.
- Kabdasli, I., dkk, 2022, 'Is K-Struvite Precipitation a Plausible Nutrient Recovery Method from Potassium-Containing Wastes?—A Review', *Journal Sustainability*, Vol.14, No.1, hh. 1-35
- Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 209/kpts/SR.320/3/2018 tentang Standar Persyaratan Teknis Minimal Pupuk An-Organik
- Li, M., dkk, 2022, 'Effect of phosphate and Amonium concentrations, total suspended solids and alkalinity on lignin-induced struvite precipitation', *Scientific Reports*, Vol.12, No.1, hh. 1-11
- Moragaspitiya, C., dkk, 2019 'Effect of Ca:Mg ratio and high amoniacal nitrogen on characteristics of struvite precipitated from waste activated sludge digester effluent', *Journal Of Enviromental Sciences*, Vol. 86, No. 10, hh. 65-77
- Perwitasari, D.S., dkk., 2019 'Optimization of Key Parameters in Struvite (K) Production for Phosporic and Potassium Recovery using a Batch Crystallizer', *Rayasan J.Chem*, Vol. 12, No.2, hh. 787-795
- Prasad, M.N.V., 2016, 'Environmental Materials and Waste Resource Recovery and Pollution Prevention', *Elsevier*, Manhattan USA
- Saerens, 2020, 'Thermal Decomposition of Struvite', *Aquafin*, Vol.8, No.2, hh.1-3
- Sugiyama, S., dkk.,2005 'Removal of aqueous ammonium with magnesium phosphates obtained from the ammonium-elimination of magnesium ammonium phosphate', *Journal Of Colloid and Interface Science*, Vol.2, No.9, hh. 133-138