



LAPORAN PENELITIAN
“SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI
BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

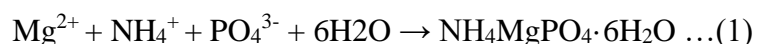
II.1. Secara Umum

II.1.1. Bat Guano

Kotoran kelelawar yang sering disebut *bat guano*, umumnya kotoran kelelawar mengandung nitrogen (N): 7-17% ,fosfor (P): 8-15%, kalium (K): 1,5-2,5% (Diba,2013). Tetapi di Sijunjung memiliki kadar P yang lebih tinggi yaitu sekitar 18% setara dengan kadar P di kabupaten Lamongan (Syofiani,2017). Kelebihan pupuk bat guano dibanding dengan pupuk fosfor buatan adalah tidak mengandung zat residu. *Guano* tinggal lebih lama dalam jaringan tanah sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanah dan menyediakan makanan bagi tanaman lebih lama daripada pupuk fosfor buatan, jadi meninggalkan unsur hara pada tanah. Manfaat penggunaan pupuk bat guano antara lain banyak lur (cacing), menetralkan keasaman tanah, meningkatkan unsur hara tanah, akar lebih banyak, batang tanaman lebih besar, tanaman lebih kokoh dan kuat, dan daun lebih lebar dan tebal. Berdasarkan hal di atas, maka perlu diadakan penelitian tentang peningkatan kadar N, P dan K dengan memanfaatkan *bat guano*.

II.1.2. Struvite

Struvite ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) merupakan kristal putih hasil reaksi antara ion Mg^{2+} , NH_4^+ dan PO_4^{3-} dengan perbandingan molar 1:1:1 (Robiah,2020). Struvite banyak digunakan pada tanaman seperti rumput-rumputan, bibit pohon, tanaman hias, sayuran dan rumput taman sebagai pupuk dan memperoleh hasil yang baik. Kemudian juga struvite dapat menjadi pupuk yang sangat alternatif untuk beberapa tanaman seperti gula bit yang memerlukan magnesium. Selama proses penerapan struvite pada tanaman, struvite tidak biasa merusak akar karena karakteristik struvite yang merupakan pupuk lepas lambat (slow release). Struvite memiliki reaksi ion sebagai berikut :



Struvite terbentuk melalui proses pengendapan yang melibatkan proses fisik-kimia membentuk endapan yang dapat dipisahkan dari larutan. (Adiman,2020) Berat molekul struvite 245,43 g/mol/L, sedikit larut di bawah kondisi netral dan basa tetapi mudah larut



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

dalam asam. Kelarutan struvite dalam air sekitar 0,018 g/100 ml pada suhu 250 °C. Struvite dianggap sebagai mineral lunak dengan spesifik gravitasi yang rendah (1,7), tidak tercuci dengan aliran air hujan sehingga dapat digunakan sebagai material pupuk di daerah banjir. Mineral struvite dapat diaplikasikan dalam bidang pertanian sebagai bahan baku pupuk bagi tanaman dikarenakan mineral struvite memiliki kandungan yang sangat menguntungkan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sebagai pupuk, kandungan N, P₂O₅, K₂O dan kandungan Mg struvite murni adalah masing-masing 5,7: 29: 0: 16,4. Kandungan P dari struvite umumnya berkisar antara 11-26% tergantung sumber dan metode produksi, yang 1–2% larut dalam air dan sisanya larut dalam asam. Pupuk struvite menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa pupuk konvensional seperti amonium fosfat, diammonium fosfat dan tunggal superfosfat dan lebih efektif dalam menghasilkan tanaman dengan peningkatan penyerapan fosfat. Sifat yang paling menguntungkan dari pupuk struvite adalah lambat tingkat pelepasan nutrisi sehingga lebih ekonomis dikarenakan menghemat dalam pemberian pupuk pada tanaman. Bentuk P dalam tanah dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu organik dan anorganik. Proporsi kedua bentuk P tersebut sangat bervariasi. Nilai P organik dilaporkan antara 5-80%. Mg diserap oleh tanaman berupa ion Mg²⁺ yang merupakan pembentuk klorofil. Mg adalah salah satu bagian enzim yang disebut organik pyrophosphate dan carboxy peptisida. Mg membantu berperan dalam transportasi fosfat pada tanaman.

Pembentukan struvite sangat dipengaruhi oleh nilai pH. Menurut (Doyle, 2000) pembentukan struvite terjadi antara rentang pH 7 hingga 11. Pembentukan struvite terjadi jika ion activity product (IAP) dari Mg²⁺ lebih besar dari kelarutan atau solubility product (KSP). Nilai IAP dikendalikan oleh pH larutan, dimana dengan meningkatkan pH akan meningkatkan nilai IAP larutan pada konsentrasi yang sama. Berdasarkan persamaan 1.1, rasio molar minimum terjadinya presipitasi struvite [Mg²⁺]: [NH⁴⁺]: [PO₄³⁻] adalah 1: 1: 1. Ini berarti bahwa pembentukan struvite secara teoritis stoichiometry membutuhkan minimum [Mg²⁺]: [NH⁴⁺]: [PO₄³⁻] adalah 1: 1: 1. Menurut Capdevielle (2013) Pada pH tertentu, setiap peningkatan rasio molar reaktan Mg: PO₄³⁻ akan meningkatkan derajat saturasi terhadap pembentukan struvite dan persentase penyisihan PO₄²⁻ dalam larutan meningkat. Aerasi bertujuan untuk melepaskan sejumlah ammonium terlarut ataupun bebas dari larutan. Selain itu, aliran udara mencairkan konsentrasi fase gas NH⁴⁺ N dan



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

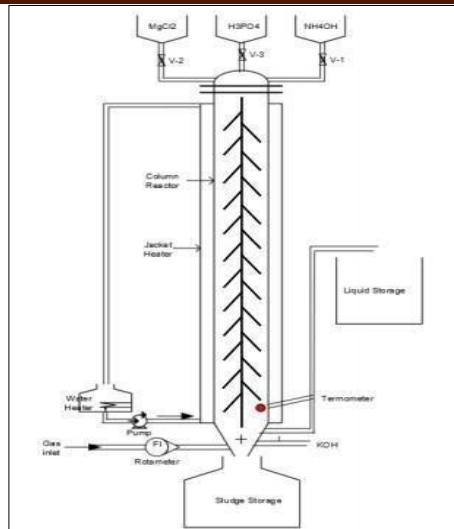
meningkatkan daya penggerak untuk melarutkan NH_4^+ N untuk memisahkan fasa gas. Jadi, ada kecenderungan meningkat untuk amonia volatilisasi dengan meningkatnya laju aliran udara. (Septiani,2020)

II.1.3. Magnesium Klorida

Presipitasi struvite menggunakan berbagai sumber ion Mg sebagai agen presipitan. Urutan keunggulan presipitan dalam mereduksi fosfat adalah $\text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4 > \text{MgO} > \text{Mg(OH)}_2 > \text{MgCO}_3$ (Zeng dan Li, 2006). Urutan ekonomis dari bahan presipitan untuk presipitan adalah MgO lebih ekonomis (murah) daripada MgCl_2 dan MgSO_4 (Hug, Alexandra, 2013). Selain ekonomis, MgO mampu menaikkan pH dengan limbah fosfat. Namun MgCl_2 lebih sering digunakan karena kelarutannya lebih baik dan proses presipitasi berlangsung dengan lebih efektif (Warmadewanthi dan Liu, 2008). Selain itu, penggunaan MgCl_2 selama ini lebih sering digunakan sebagai presipitan untuk pengendapan amonium dan fosfat.

II.1.4. Reaktor Kolom Sekat

Reaktor yang digunakan dalam proses pembuatan struvite yaitu reaktor kolom sekat yang prosesnya berjalan secara kontinyu. Reaktor direncanakan dengan volume 498,75 mL tinggi 50 cm dengan diameter luar 5 cm ; diameter dalam 2.5 cm. Reaktor sekat yang digunakan berbentuk vertikal sebagai tempat terbentuknya kristal struvite sesuai dengan reaktor yang digunakan. Pada reaktor jenis ini digunakan udara sebagai pengaduk pada aliran yang ada di dalam vertical reaktor tersebut, sehingga MAP (Magnesium Amonium Phospate) yang ada di dalam reaktor dapat homogen. Pertama membuat MAP (Magnesium Amonium Phospate) dengan perbandingan rasio konsentrasi $\text{Mg:NH}_4:\text{PO}_4 = 1:1:1$ dan konsentrasi KOH 1N. Reaktor diisi $\frac{3}{4}$ volume reaktor dan digunakan KOH sebagai pengontrol pH. (Edahwati, 2018).



Gambar II.I Reaktor Tabung Bersekat Miring untuk Pembentukan *Struvite*.

Reaktor ini memiliki dimensi sebagai berikut : volume 498,75 ml, tinggi :50 cm, diameter luar : 5 cm, diameter dalam 2.5 cm. Reaktor ini dilengkapi dengan jaket yang berfungsi untuk mengkondisikan temperatur. Kemudian bagian dalam yang merupakan tempat berlangsungnya proses pencampuran MAP serta dilengkapi dengan sekat yang berfungsi sebagai pengaduk yang berada pada bagian dalam reaktor. Pengadukan pada reaktor kolom bersekat dibantu oleh udara yang masuk dari kompresor udara yang dilengkapi dengan regulator rate udara. Sekat yang dirancang dalam reaktor ini bertujuan untuk pemecah gelembung-gelembungair yang berasal dari udara. Sekat juga berfungsi sebagai impeler untuk proses pengadukan. Penggunaan reaktor ini dapat ditambahkan berupa kontrol pH serta temperatur. Presipitasi *struvite* dapat dikontrol menggunakan alkali pH level dan temperatur. Perubahan secara kimia dalam *struvite* terjadi pada pemanasan yang rendah, sedangkan perubahan ini disertai dengan penambahan amonia dan air padat temperatur dibawah 40°C (Sutiyono *et all*, 2016).

II.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan *Struvite*

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH merupakan faktor penting dalam pembentukan *struvite*. Nilai pH akan mempengaruhi kelarutan *struvite* dan sifat termodinamikanya (Ronteltap *et al.*, 2007). Reaksi presipitasi *struvite* sangat tergantung pada pH. Presipitasi *struvite* pada kondisi basa dengan pH antara 6,5 – 10 (Bowers, 2004). Aerasi pada air limbah dapat menaikkan pH dan mendekati pH dimana *struvite* akan terbentuk.



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

b. Aliran Udara

Aliran udara untuk meningkatkan kecepatan terjadinya reaksi. Aliran udara menyebabkan terjadinya homogenitas pada sebuah larutan. Semakin besar rate udara yang di gunakan maka semakin cepat mencapai keadaan homogen dan juga semakin cepat pula proses pembentukan kristal struvite. (Darmadi 2014)

c. Suhu dan Pengadukan

Agitasi sering digunakan dalam proses kristalisasi untuk menghasilkan kristal. dkk. Dengan dilakukannya pengadukan, bentuk dan ukuran kristal yang dihasilkan cenderung homogen, sedangkan kristal yang dihasilkan tanpa pengadukan cenderung memiliki bentuk dan ukuran kristal yang heterogen.

Kondisi suhu dan kecepatan pengadukan yang digunakan sangat mempengaruhi proses pembentukan kristal. Penurunan suhu akan menginduksi pembentukan kristal secara cepat sehingga dapat menghasilkan kemurnian dan *yield* kristal yang semakin tinggi, sedangkan kecepatan pengadukan dapat meningkatkan laju pertumbuhan kristal dan hasil kristal yang didapat memiliki ukuran yang relatif seragam. Penelitian yang telah dilakukan oleh Widyanto dan Nugroho (2010), semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan maka semakin tinggi pula kemurnian dan *yield* kristal yang dihasilkan. (Khairunisa, 2019)

II.1.5 Magnesium

Pada pembentukan struvite terdapat unsur selain fosfaat sangat berpengaruh dalam proses pembentukan kristal struvite yakni magnesium. Magnesium (Mg) ialah ion penting dalam proses pembentukan kristal struvite. Oleh karena itu, ion Mg dapat mempengaruhi tingkat kejenuhan suatu larutan serta meningkatkan proses reaksi pembentukan kristal struvite. Penambahan ion Mg dapat mempercepat suatu reaksi pembentukan struvite dengan perbandingan molar rasio reaktan Mg:N:P yakni 1:1:1. Konsentrasi dari ion Mg yang tinggi meningkatkan reaksi penyisihan PO_4 dari suatu larutan. Perbandingan molar reaktan PO_4 dan Mg ion berperan sebagai parameter yang mempengaruhi pembentukan kristal struvite. Pada pH tertentu, setiap peningkatan molar rasio reaktan Mg: PO_4 akan meningkatkan nilai derajat kejenuhan terhadap proses pembentukan struvite sehingga meningkatkan persentase penyisihan PO_4 di dalam larutan. Magnesium dapat didapati dari limbah yang belum dimanfaatkan seperti fosfat



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

tadi, salah satunya contoh limbah yang mengandung nilai Mg besar yakni limbah cucian garam. Setelah didapati magnesium serta ditambah ammonium dan fosfat maka bisa melakukan proses pembentukan struvite (Ariyanto, 2015).

Magnesium adalah salah satu unsur pembentuk pupuk struvite dimana unsur tersebut bertindak sebagai unsur hara dan nutrisi makro pada tanaman Magnesium merupakan bagian penting yang dibutuhkan oleh tanaman dalam proses metabolisme fosfat, pembentukan klorofil, respirasi tanaman, dan aktivitas enzim. Fungsi Magnesium antara lain

1. Berkemampuan untuk mengoreksi keasaman tanah, kolam, ataupun tambak agar mendapatkan pH yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman yang baik.
2. Meningkatkan penyerapan unsur-unsur hara lain yang berasal dari bahan organik ataupun penambahan pupuk.
3. Menjaga persediaan unsur hara mikro yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.
4. Mengaktifkan berbagai jenis enzim yang baik untuk tanaman (Susilawati, 2019)

II.1.6 Amonium

Amonium adalah ion NH_4^+ yang bersifat tidak berwarna, berbau menyengat dan berbahaya bagi kesehatan dan merupakan suatu ion hasil hidrolisis ammonia yang merupakan hasil hidrolisis dari urea yang ada dalam urin. Amonia adalah senyawa gas dengan formula NH_3 dan bersifat tidak berwarna, berbau sengit, larut dalam air dan menghasilkan larutan alkali yang mengandung amonium hidroksida $(\text{NH}_4)\text{OH}$. Amonia disintesa dari nitrogen dan hidrogen dengan menggunakan proses Haber. Larutan amonia digunakan sebagai larutan pendingin. Gas amonia digunakan sebagai bahan pemula dalam pembuatan asam nitrat dan senyawa nitrit (Basri, 2005).

Amonium adalah salah satu senyawa pembentuk pupuk struvite. Unsur hara nitrogen pada senyawa ammonia sangat diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tanaman seperti daun, batang, dan akar. Fungsi unsur nitrogen pada tanaman antara lain.

1. Dapat menunjang peningkatan pertumbuhan tanaman.
2. Dapat meningkatkan kadar protein, asam amino dan klorofil dalam tanaman.



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

3. Dapat meningkatkan perkembangbiakkan mikroorganisme di dalam tanah untuk kelangsungan proses pelapukan bahan organik.
4. Dapat meningkatkan kualitas tanaman penghasil daun- daunan.
5. Mendukung pembuatan enzim-enzim yang dapat membentuk daun dan produksi bahan kering (Susilawati, 2019).

II.1.7. Fosfat

Fosfat ialah elemen biologis yang penting dan unsur utama pembentukan suatu pupuk. Perlu diketahui bahwa fosfat merupakan lemen yang perlu diperhatikan karena mempunyai karakteristik yang tidak dapat diperbarui. Hampir 90% fosfat bersumber dari batuan fosfat, atau dalam kata lain fosfat ini sendiri merupakan sumber daya tak terbarukan. Kristalisasi struvite saat ini sedang diselidiki sebagai salah satu teknik yang paling menjanjikan dalam pengurangan kebutuhan fosfat yang bersumber dari batuan fosfat karena dapat menggunakan limbah yang masih belum dimanfaatkan dengan baik contohnya yakni urine sapi dan limbah kubis.(Bing,2018)

II.2. LandasanTeori

II.2.1.Kristalisasi

Kristalisasi adalah proses pembentukan bahan padat dari pengendapan larutan, melt (campuran leleh). Kristalisasi juga merupakan teknik pemisahan kimia antara bahan padat cair, di mana terjadi perpindahan massa (mass transfer) dari suatu zat terlarut (solute) dari cairan larutan ke fase kristal padat. Pemisahan dengan teknik kristalisasi terjadi ketika zat terlarut dalam keadaan berlebih, maka sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut. Proses ini adalah salah satu teknik pemisahan padat-cair yang sangat penting dalam industri, karena dapat menghasiikan kemurnian produk hingga 100%. (McCabe,1985)

a. Pembentukan Inti Kristal (Nukleasi)

Nukleasi primer atau pembentukkan inti, Pada tahap pembentukan inti dimana kristal-kristal mulai tumbuh namun belum mengendap. Tahap ini membutuhkan keadaan supeijenuh dari zat terlarut. Saat larutan didinginkan, pelarut tidak dapat "menahan" semua zat-zat terlarut, akibatnya molekul-molekul yang lepas dari pelarut saling menempel, dan mulai tumbuh menjadi inti kristal. Semakin banyak inti-inti yang bergabung, maka akan semakin cepat pula pertumbuhan kristal tersebut Nukleasi



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

sekunder. Pada tahap ini pertumbuhan kristal semakin cepat, yang ditandai dengan saling menempelnya inti-inti menjadi kristal-kristal padat. (Rismaka, 2009).

b. Pertumbuhan Kristal (Growth)

Fase ini sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dari larutan, suhu, energi yang dipakai untuk berada pada tahap ini (misalnya kristalisasi) dan tambahan eksternal. Kristalisasi dari sebuah larutan dibagi menjadi dua langkah proses, yaitu:

1. Pemisahan fase atau pumumian kristal baru.
2. Pertumbuhan kristal kedalam ukuran yang lebih besar.

Pertumbuhan inti kristal dapat mempengaruhi ukuran kristal yang kita akan peroleh. Laju pembentukan inti (nukleasi) dapat dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu. Bila laju pembentukan inti tinggi, maka Kristal yang terbentuk akan semakin banyak. Laju pembentukan inti ini tergantung pada derajat kejenuhan dari larutan. Semakin tinggi tingkat kejenuhan maka semakin besar kemungkinan untuk membentuk inti baru sehingga semakin besar laju pembentukan inti. (Ariyanto,2014)

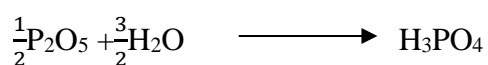
II.2.2. Pembentukan Struvite

Struvite atau magnesium ammonium phosphate hexahydrate, adalah sebuah mineral presipitat dari air limbah selama digester anaerobik ketika ion amonium, fosfat, dan magnesium terlepas. Struvite merupakan kristal putih yang terbentuk dari magnesium, amonium, dan fosfat dengan konsentrasi molar sama. Presipitasi struvite biasanya ditemukan pada area dengan turbulensi tinggi, turbulensi ini melepaskan karbondioksida dan menaikkan pH (Dhakal, 2010). Senyawa potensial yang mungkin menjadi copresipitat selama presipitasi struvite diidentifikasi berdasarkan nilai pK tertentu dan sejumlah senyawa kalsium (Ca^{2+}) yang dapat memicu terbentuknya presipitat.

II.2.3. Mekanisme Reaksi Sintesis Struvite

Pembentukan kristal struvite dari sebuah limbah, sintesis dapat dilakukan dengan menggunakan *reactor fluidized bed* (Shih,2017). Sehingga untuk reaksi sintesis struvite dari limbah bat guano dapat ditunjukkan dari gambar berikut :

1.) Kandungan Bat Guano

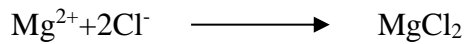




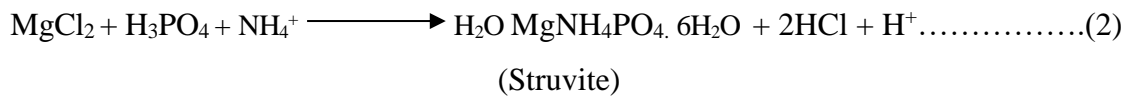
LAPORAN PENELITIAN
“SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI
BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT



2.) Bahan Kimia



Dimana H_3PO_4 , NH_4OH , dan MgCl_2 direaksikan sehingga menjadi :



II.2.4. Kekurangan proses-proses Kristalisasi

Pada penelitian (Ariyanto, 2014) disebutkan bahwa proses kristalisasi yang umum digunakan untuk merecovery fosfor adalah reactor unggul terfluidisasi (Bhuiyandkk., 2008). Tetapi kristalisasi menggunakan reactor unggul terfluidisasi memiliki kekurangan antara lain seed crystal yang digunakan dapat mengurangi kemurnian produk dan meningkatkan biaya operasional. Proses kristalisasi menggunakan reactor berpengaduk juga tidak menguntungkan karena struvite. Kristal dapat melekat pada pengaduknya. Sehingga penelitian ini diusulkan proses kristalisasi menggunakan reactor kolom sekat.

II.2.5. Manfaat Struvite

Adapun manfaat dari *struvite* antara lain :

1. Kelarutan yang rendah dari *struvite* dalam melepaskan nutrisi pada tingkat yang lebih lambat dibandingkan dengan pupuk larut lain
2. *Struvite* yang digunakan sebagai pupuk memiliki kandungan logam yang rendah pada produk saat dibandingkan dengan batuan fosfat yang ditambang dan disuplai ke industri pupuk
3. Penerapan unsur hara lain seperti rasio N dan Mg secara bersamaan ke tanaman bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. (Dhakal, 2010).

II.2.6. Pengujian SEM

SEM (*Scanning Electron Microscop*) merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari Gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu Gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti



LAPORAN PENELITIAN “SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUVITE DARI BAT GUANO DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR KOLOM SEKAT

gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan struktur permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 μm dari permukaan. Gambar topografi permukaan berupa tonjolan, lekukan dan ketebalan lapisan tipis dari penampang melintangnya.

SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil Gbr dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, homogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material (Cahyana,2014).

II.2.7. Pengujian XRF

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X (Munasir,2012).

II.2.8. Pengujian XRD

XRD merupakan alat karakterisasi untuk identifikasi struktur kristal, presentase dan tingkat kristalinitas suatu rendemen. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan. Hasil pengukuran XRD berupa grafik pola difraksi. (Sutiyono, 2017)

II.3. Hipotesa

Struvite dapat terbentuk dari limbah *Bat guano* dengan variabel yang berpengaruh yaitu suhu dan pH menggunakan reaktor kolom bersekat.