

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri garam di Indonesia berkembang pesat dan menghasilkan volume garam krosok dan garam halus yang besar, terutama untuk kebutuhan pupuk tebu, pakan ternak hingga garam dapur. Sejalan dengan itu, limbah panen garam ikut meningkat dan menumpuk di sekitar area produksi, yang dimana usaha produksi garam biasanya berada di daerah pesisir pantai, sehingga berpotensi menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dimanfaatkan atau dikelola dengan baik (Handayani et al., 2025).

Bittern sebagai limbah cair hasil samping produksi garam berpotensi menjadi pencemar apabila dibuang langsung ke perairan laut tanpa pengolahan. Kandungan garam dan mineral yang sangat tinggi dalam *bittern* dapat mengganggu keseimbangan ekosistem pesisir. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa pembuangan *bittern* ke perairan pantai dapat memberikan dampak negatif terhadap organisme mangrove *Avicennia marina*. Konsentrasi *bittern* sebesar 50% dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan mangrove, sedangkan konsentrasi 100% bersifat letal setelah paparan selama 8 jam per hari dalam periode 10 hari. Temuan ini menunjukkan bahwa *bittern* memiliki potensi toksisitas yang signifikan terhadap biota pesisir (Apriani et al., 2018).

Di sisi lain, *bittern* sebenarnya mengandung sejumlah mineral bernilai yang berpotensi untuk dipulihkan dan dimanfaatkan kembali. Berbagai mineral berharga, khususnya senyawa berbasis magnesium, dapat diekstraksi dari *bittern*. Pemulihan magnesium dari *bittern*, terutama dalam bentuk magnesium klorida ($MgCl_2$) dan magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$), telah dilakukan pada skala industri selama beberapa dekade. Hal ini menunjukkan bahwa *bittern* tidak hanya dipandang sebagai limbah, tetapi juga sebagai sumber daya sekunder yang memiliki nilai ekonomis. Oleh karena itu, pendekatan pengolahan yang berorientasi pada pemanfaatan kembali kandungan mineral dalam *bittern* menjadi strategi yang

relevan dalam mendukung prinsip pengelolaan limbah berkelanjutan dan ekonomi sirkular (Bagastyo et al., 2021).

Unsur yang cukup tinggi pada *Bittern* adalah Magnesium. 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 $(\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$. *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 (Adzra et al., 2024).

Pengolahan kristal *struvite* umumnya dapat menggunakan aerasi, CSTR ataupun FBR, tetapi dalam beberapa kasus FBR digunakan karena memberikan hasil yang optimum dalam menghasilkan kristal *struvite*. *Stirred tank reactor* (CSTR) secara hidrodinamik mampu menghasilkan pencampuran yang kuat dan efektif dalam menurunkan fosfat. Namun, tingginya intensitas geser pada sistem ini dapat memicu nukleasi sekunder yang berlebihan serta fragmentasi kristal, sehingga produk yang dihasilkan didominasi oleh kristal berukuran kecil (*fines*) dengan kemurnian dan karakteristik pemisahan yang kurang baik (Shim et al., 2020). Sebaliknya, *fluidized bed reactor* (FBR) memanfaatkan aliran ke atas dan/atau resirkulasi untuk meningkatkan perpindahan massa tanpa menghasilkan gaya geser mekanik yang tinggi, sehingga lebih mendukung pertumbuhan kristal yang lebih besar (granulasi) serta mengurangi pembentukan *fines* (Wang et al., 2020).

Dalam berbagai penelitian mengenai penggunaan *Fluidized Bed Reactor* (FBR) untuk pembentukan *struvite* atau pemulihan nutrisi, perhatian utama umumnya difokuskan pada penentuan kondisi optimum pH, serta dalam beberapa kasus suhu atau jenis limbah yang digunakan. Sementara itu, parameter operasional seperti laju aliran dan perbandingan rasio molar yang dikaji secara bersamaan dengan menggunakan *bittern* sebagai sumber utama magnesium belum banyak dikaji (Wang et al., 2020).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pemanfaatan *fluidized bed reactor* (FBR) dalam pengolahan *bittern* guna menurunkan kadar magnesium sekaligus menghasilkan kristal *struvite* yang berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk *slow release*. Penelitian ini secara khusus diarahkan untuk mengkaji kinerja reaktor FBR dalam menurunkan konsentrasi magnesium pada *bittern*, serta menganalisis pengaruh variasi laju aliran dan rasio molar fosfat–amonium terhadap efisiensi penurunan magnesium dan massa kristal *struvite* yang terbentuk. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik kristal *struvite* yang dihasilkan melalui analisis XRD dan SEM guna memperoleh gambaran kualitas produk yang terbentuk.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja reaktor Fluidized Bed dalam menurunkan konsentrasi magnesium pada *Bittern*?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran terhadap efisiensi penurunan magnesium dan massa kristal *struvite* yang terbentuk pada pengolahan *bittern*?
3. Bagaimana pengaruh variasi rasio molar fosfat dan ammonium terhadap efisiensi penurunan magnesium dan massa kristal *struvite*?
4. Bagaimana karakteristik kristal *struvite* yang terbentuk dari pengolahan *bittern*, melalui analisis XRD dan SEM?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kinerja reaktor fluidized bed dalam menurunkan konsentrasi magnesium pada *bittern*.
2. Menganalisis pengaruh variasi laju aliran terhadap efisiensi penurunan magnesium dan massa kristal *struvite* yang terbentuk pada pengolahan *bittern*.
3. Menganalisis pengaruh variasi rasio molar fosfat dan amonium terhadap efisiensi penurunan magnesium serta massa kristal *struvite*.

4. Mengidentifikasi karakteristik kristal *struvite* yang terbentuk dari pengolahan *bittern*, melalui analisis XRD dan SEM.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pengolahan air limbah garam melalui pembentukan kristal *struvite*, khususnya terkait pengaruh laju aliran dan rasio molar pereaksi terhadap efisiensi penurunan magnesium dan karakteristik *struvite* yang dihasilkan.
2. Menjadi referensi upaya pengelolaan limbah *bittern* di kawasan produksi garam, terutama sebagai alternatif teknologi yang tidak hanya mengurangi potensi pencemaran lingkungan pesisir, tetapi juga memanfaatkan kandungan mineral dalam *bittern* menjadi produk bernilai guna berupa *struvite*.
3. Menghasilkan rekomendasi teknis terkait kombinasi laju aliran dan rasio molar dalam efisiensi penurunan magnesium dan kristalisasi *struvite* yang lebih berkualitas.

1.5 Lingkup Penelitian

Agar penelitian terarah dan tidak melebar, ruang lingkup penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Objek Penelitian
 Penelitian dilakukan menggunakan limbah garam atau *bittern* yang berasal dari Tunnel Garam di Blitar, Desa Sumbersih, Dusun Peh Pulo. Sampel diambil pada pukul 09.00 WIB.
2. Unit yang diteliti
 Penelitian difokuskan pada unit pengolahan fluidized bed skala laboratorium yang menyimulasikan pengolahan *bittern*, khususnya dalam pembentukan kristal *struvite*
3. Variabel yang dikaji
 - Variabel bebas: Laju aliran dan Rasio molar

- Variabel terikat: Efisiensi penurunan magnesium, Massa kristal *struvite*, dan Kemurnian kristal *struvite*.
- Variabel kontrol: pH, Suhu, dan Waktu Operasi 30 Menit

4. Batasan pengujian

- Pengamatan dilakukan dalam periode penelitian yang telah ditentukan dan tidak bertujuan untuk menilai kinerja sistem pengolahan secara keseluruhan, melainkan difokuskan pada analisis hubungan antara laju aliran dan rasio molar dalam pembentukan kristal *struvite*. Dan penurunan parameter magnesium.
- Penilaian kualitas effluent dibatasi pada parameter magnesium dan analisis kualitas kristal *struvite* yang terbentuk dibatasi pada penilaian sifat fisik-kimia dan potensi sebagai pupuk.