

SKRIPSI

**PENGARUH SEED MATERIAL DAN KECEPATAN ALIRAN
TERHADAP KRISTALISASI STRUVITE DARI LIMBAH BITTERN
MENGUNAKAN FLUIDIZED BED REAKTOR**



Oleh :

MUHAMMAD RIZAL ROSYADI

NPM 22034010001

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

**PENGARUH SEED MATERIAL DAN KECEPATAN ALIRAN
TERHADAP KRISTALISASI STRUVITE DARI LIMBAH
BITTERN MENGGUNAKAN FLUIDIZED BED REAKTOR**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST.)
Program Studi Teknik Lingkungan

Diajukan Oleh

MUHAMMAD RIZAL ROSYADI

NPM: 22034010001

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA
TIMUR FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH SEED MATERIAL DAN KECEPATAN ALIRAN
TERHADAP KRISTALISASI STRUVITE DARI LIMBAH
BITTERN MENGGUNAKAN FLUIDIZED BED REAKTOR**

Disusun Oleh:

Muhammad Rizal Rosyadi
NPM. 22034010001

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,
Pembimbing

Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc.
NIP. 19930416 202506 2005

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH SEED MATERIAL DAN KECEPATAN ALIRAN
TERHADAP KRISTALISASI STRUVITE DARI LIMBAH
BITTERN MENGGUNAKAN FLUIDIZED BED REAKTOR**

Disusun Oleh:

Muhammad Rizal Rosyadi

NPM. 22034010001

**Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal Jati
Emas (Terakreditasi Sinta 5)**

Menyetujui,

Pembimbing

TIM PENGUJI

1. Ketua

Restu Hikmah Ayu Murli, S.ST., M.Sc.
NIP. 19930416 202506 2005

Ir. Tuhu Agung Rachmanto, MT.
NIP. 19620501 198803 1 001

2. Anggota

Syadzadhiya Q. Z. Nisa', ST., MT.
NPT. 21219940930296

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.

NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

**PENGARUH SEED MATERIAL DAN KECEPATAN ALIRAN
TERHADAP KRISTALISASI STRUVITE DARI LIMBAH
BITTERN MENGGUNAKAN FLUIDIZED BED REAKTOR**

Disusun Oleh:

Muhammad Rizal Rosyadi

NPM. 22034010001

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 31 Agustus 2026

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA

Ir. Tuhu Agung Rachmanto, MT.
NIP. 19620501 198803 1 001

Syadzadhiya O. Z. Nisa', ST., MT.
NPT. 21219940930296

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rizal Rosyadi
NPM : 22034010001
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah yang telah diajukan untuk memenuhi gelar akademik di suatu Lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/Lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Rizal Rosyadi
22034010001

KATA PENGHANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Seed Material dan Kecepatan Aliran Terhadap Kristalisasi Struvite Dari Limbah Bittern Menggunakan Fluidized Bed Reaktor” tepat pada waktunya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh dalam kurikulum Program Studi Teknik Lingkungan dan bertujuan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Ucapan terima kasih tak lupa pula penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis sebelum, pada saat, dan sesudah penyusunan skripsi ini antara lain, yaitu:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
3. Restu Hikmah Ayu Murti, S.ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan ilmu serta membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini
4. Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T. dan Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa’, ST., MT., selaku Dosen Penguji Skripsi yang telah mengkritisi dan memberikan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa mengiringi setiap langkah dengan doa, kasih sayang, serta dukungan yang tak ternilai baik secara moril maupun materil dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Teman-teman Angkatan 2022 Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan rasa kekeluargaan dan kebersamaan penulis sejak awal hingga akhir masa perkuliahan.

7. Mohammad Bintang Wibowo atau Alex Rimba selaku rekan kerja penelitian dan teman penulis yang telah memberikan ide penelitian serta dukungan nyata dalam berbagai aspek penyusunan skripsi ini.
8. teman-teman HIMA-PB yang telah memberikan dukungan, semangat, kebersamaan, serta berbagai pengalaman berharga selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan dukungan yang diberikan menjadi salah satu motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan yang tidak dapat dihindari. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif, menambah pengetahuan, serta memberikan manfaat bagi penulis maupun pihak lain yang membaca dan memanfaatkannya..

Surabaya, 28 Agustus 2026

Penulis

Daftar Isi

KATA PENGHANTAR.....	i
Daftar Isi.....	iii
Daftar Tabel.....	vi
Daftar Gambar.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	3
1. 3 Tujuan Penelitian.....	3
1. 4 Manfaat Penelitian.....	4
1. 5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2. 1 Tinjauan Umum.....	6
2. 1. 1 Industri Garam.....	6
2. 1. 2 Limbah Bittern	7
2. 1. 3 Struvite	9
2. 1. 4 <i>Fluidized Bed Reaktor</i>	10
2. 2 Landasan Teori	12
2. 2. 1 Mekanisme Pembentukan Kristal Struvite	12
2. 2. 2 Morfologi dan Karakteristik Kristal Struvite	17
2. 2. 3 Prinsip Kerja <i>Fluidized Bed Reactor</i> (FBR).....	19
2. 2. 4 Pengaruh Hidrodinamika dan Parameter Operasi Terhadap Kristalisasi Struvite	21

2. 2. 5 Kecepatan Minimum Fluidisasi (Umf) dan Kecepatan Terminal (Ut) ..	23
2. 2. 6 Seed Material.....	26
2. 3 Penelitian Terdahulu.....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	32
3. 1 Kerangka Penelitian	32
3. 2 Peralatan dan Bahan	34
3. 2. 1 Peralatan	34
3. 2. 2 Bahan.....	34
3. 2. 3 Desain <i>Fluidized Bed Reaktor</i> (FBR).....	35
3. 3 Cara Kerja.....	35
3. 3. 1 Persiapan Sampel	35
3. 3. 2 Persiapan Seed Material	35
3. 3. 3 Persiapan Larutan NH_4Cl dan KH_2PO_4	36
3. 3. 4 Pengujian Pada <i>Fluidized Bed Reactor</i> (FBR).....	36
3. 3. 5 Pemanenan Kristal Struvite	38
3. 4 Variabel.....	39
3. 4. 1 Variabel Tetap	39
3. 4. 2 Variabel Bebas	39
3. 5 Analisis	40
3. 5. 1 Analisis Penyisihan.....	40
3. 5. 2 Analisis Massa Kristal	40
3. 5. 3 Analisis SEM-EDX	40
3. 5. 4 Analisis XRD.....	41
3. 5. 5 Analisis Korelasi.....	41
3. 6 Jadwal Kegiatan	42
3. 7 Matriks Penelitian.....	43

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4. 1 Hasil Penelitian.....	45
4. 1. 1 Pengaruh Jenis Seed Material, Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Penurunan Kadar Magnesium (Mg)	45
4. 1. 2 Pengaruh Jenis Seed Material, Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Jumlah Massa Kristal Struvite	47
4. 1. 3 Konsentrasi Amonium dan Fosfat pada Hasil Proses Kristalisasi Struvite	50
4. 2 Pembahasan	51
4. 2. 1 Efektivitas Jenis Seed Material, Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Penurunan Magnesium	51
4. 2. 2 Efektivitas Jenis <i>Seed Material</i> , Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Penurunan Salinitas	56
4. 2. 3 Efektivitas Jenis <i>Seed Material</i> , Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Massa Kristal	58
4. 2. 4 Analisis Morfologi dan Komposisi Kristal Struvite	63
4. 2. 5 Identifikasi Fase Kristal yang Hasil Analisis XRD	72
4. 2. 6 Analisis Korelasi.....	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	83
5. 1 Kesimpulan.....	83
5. 2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	93

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	42
Tabel 3.2 Pengaruh Seed Material, Waktu Reaksi, Kecepatan Aliran terhadap Penyisihan Magnesium dan Salinitas.....	43
Tabel 3.3 Pengaruh Seed Material, Waktu Reaksi, Kecepatan Aliran terhadap Jumlah Massa Kristal yang Terbentuk.....	44
Tabel 4.1 Pengaruh Seed Material, Waktu Reaksi, Kecepatan Aliran terhadap Penyisihan Magnesium	45
Tabel 4.2 Pengaruh Terhadap Jumlah Massa Kristal yang Terbentuk.....	47
Tabel 4.3 Pengaruh Seed Material, Waktu Reaksi, Kecepatan Aliran terhadap Penyisihan Magnesium	50
Tabel 4.4 Pengaruh <i>Seed Material</i> , Kecepatan Aliran, dan Waktu Reaksi Terhadap Salinitas	56
Tabel 4.5 Hasil EDX Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Silika	65
Tabel 4.6 Hasil EDX Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Zeolit	69
Tabel 4.7 Perbandingan Puncak Struvite Hasil Penelitian dan Database Struvite	73
Tabel 4.8 Perbandingan Puncak Struvite Hasil Penelitian dan Database Struvite	74

Daftar Gambar

Gambar 2.1. Kristal Struvite	9
Gambar 2.2. Pola difraksi kristal struvite pada gelombang 2 θ	18
Gambar 2.3. SEM kristal struvite (a) x250 <i>magnification</i> , <i>scale bar</i> = 50 μm , (b) x2000 <i>magnification</i> , <i>scale bar</i> = 20 μm	19
Gambar 2.4. <i>Fluidized Bed Reactor</i>	20
Gambar 2.5. Kondisi unggun pada kecepatan minimum fluidisasi (Umf) dan setelah melewati Umf.....	25
Gambar 3.1. Kerangka Penelitian	33
Gambar 3.2. Desain <i>Fluidized Bed Reaktor</i> (FBR).....	35
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran dan Waktu Reaksi Terhadap Penyisihan Magnesium pada <i>Seed Material</i> Silika.....	52
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran dan Waktu Reaksi Terhadap Penyisihan Magnesium pada <i>Seed Material</i> Zeolit.....	54
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Salinitas dengan Refraktometer	57
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran dan Waktu Reaksi Terhadap Massa Kristal Pada <i>Seed Material</i> Silika	59
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran dan Waktu Reaksi Terhadap Massa Kristal Pada <i>Seed Material</i> Zeolit.....	61
Gambar 4.6 Penimbangan <i>Seed Material</i> Setelah Proses Kristalisasi Struvite.....	62
Gambar 4.7 Hasil Uji SEM <i>Seed Material</i> Silika Perbesaran (a) 2500x, (b) 3000x, (c) 4000x, (d) 5000x.....	64
Gambar 4.8 Spektra EDX Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Silika.....	65
Gambar 4.9 Hasil Uji SEM <i>Seed Material</i> Zeolit Perbesaran (a) 2500x, (b) 3000x, (c) 4000x, (d) 5000x.....	68
Gambar 4.10 Spektra EDX Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Zeolit	70
Gambar 4.11 Spektra XRD Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Silika.....	72
Gambar 4.12 Spektra XRD Sampel Kristal <i>Seed Material</i> Zeolit	74
Gambar 4.13 Hasil Uji Korelasi Waktu Reaksi terhadap Konstentrasi Magnesium	77

Gambar 4.14 Hasil Uji Korelasi Waktu Reaksi terhadap Massa Kristal Struvite .	78
Gambar 4.15 Hasil Uji Korelasi Kecepatan Aliran terhadap Konstentrasi Magnesium.....	79
Gambar 4.16 Hasil Uji Korelasi Kecepatan Aliran terhadap Massa Kristal Struvite	81
Gambar 4.17 Hasil Uji Korelasi Konsentrasi Mg terhadap Massa Kristal Struvite	82

ABSTRAK

Limbah bittern dari proses produksi garam memiliki kandungan magnesium (Mg) tinggi yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber pembentukan kristal struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis seed material, kecepatan aliran, dan waktu reaksi terhadap proses kristalisasi struvite menggunakan Fluidized Bed Reactor (FBR). Penelitian dilakukan dengan menggunakan pasir silika dan zeolit sebagai seed material. Parameter yang dianalisis meliputi penyisihan magnesium, massa kristal, serta karakteristik kristal menggunakan analisis SEM-EDX dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi seed material, kecepatan aliran, dan waktu reaksi memengaruhi proses pembentukan kristal struvite. Penggunaan zeolit memberikan hasil terbaik dengan efisiensi penyisihan magnesium sebesar 84,5% dan menghasilkan massa kristal tertinggi sebesar 41 gram pada kondisi operasi optimum. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk memiliki kandungan unsur penyusun struvite dan pola difraksi yang sesuai dengan standar struvite. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah bittern menggunakan teknologi FBR berpotensi menjadi metode pengolahan limbah sekaligus pemulihan sumber daya bernilai tambah.

Kata Kunci: Limbah Bittern, Struvite, Fluidized Bed Reaktor, Seed Material, Kristalisasi.

ABSTRACT

Bittern waste from salt production contains high magnesium (Mg) concentrations, making it a potential magnesium source for struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) crystallization. This study aims to investigate the effects of seed material type, flow velocity, and reaction time on struvite crystallization using a Fluidized Bed Reactor (FBR). Silica sand and zeolite were used as seed materials. The analyzed parameters included magnesium removal efficiency, crystal mass production, and crystal characteristics using SEM-EDX and XRD analyses. The results showed that seed material type, flow velocity, and reaction time significantly influenced struvite crystallization. Zeolite produced the best performance with 84.5% magnesium removal efficiency and the highest crystal mass production of 41 grams under optimum operating conditions. Characterization results confirmed the presence of struvite-forming elements and diffraction patterns consistent with standard struvite. This study demonstrates that bittern waste utilization through FBR technology has potential as an alternative approach for waste treatment and valuable resource recovery.

Keywords: *Bittern Waste, Struvite, Fluidized Bed Reactor, Seed Material, Crystallization.*