

# SKRIPSI

## PEMBUATAN ADSORBEN KOMPOSIT DARI KOMBINASI ALGINAT DAN KERANGKA-LOGAM-ORGANIK BERBASIS FE UNTUK PEMULIHAN FOSFAT DARI AIR



### Diajukan oleh

Eric Alvares                      NRP: 5203018036

Stanley Tantoro                NRP: 5203018040

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Seminar **SKRIPSI** bagi mahasiswa tersebut di bawah ini:

**Nama : Eric Alvares**

**NRP : 5203018036**

telah diselenggarakan pada tanggal 24 Maret 2022, karenanya yang bersangkutan dapat dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar **Sarjana Teknik** Jurusan **Teknik Kimia**.

Surabaya, 24 Maret 2022

Pembimbing I,

(Ir. Shella P. Santoso, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.17.0971

Pembimbing II,

(Ir. Christian Julius Wijaya, M.T.)  
NIK. 521.17.0948

### Dewan Penguji

Ketua

(Ir. Jindrayani N.P., Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.20.1227

Sekretaris

(Ir. Shella P. Santoso, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.17.0971

Anggota

(Dr. Ir. Suratno Lourentius, IPM.)  
NIK. 521.87.0127

Anggota

(Ir. Maria Yuliana, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.18.1010

### Mengetahui

Fakultas Teknik

  

(Prof. Dr. Sandy Budhi, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.99.0401

(Ir. Sandy Budhi, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.99.0401

## LEMBAR PENGESAHAN

Seminar **SKRIPSI** bagi mahasiswa tersebut di bawah ini:

**Nama : Stanley Tantoro**

**NRP : 5203018040**

telah diselenggarakan pada tanggal 24 Maret 2022, karenanya yang bersangkutan dapat dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar **Sarjana Teknik** Jurusan **Teknik Kimia**.

Surabaya, 24 Maret 2022

Pembimbing I,

(Ir. Shella P. Santoso, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.17.0971

Pembimbing II,

(Ir. Christian Julius Wijaya, M.T.)  
NIK. 521.17.0948

### Dewan Penguji

Ketua

(Ir. Jindrayani N.P., Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.20.1227

Sekretaris

(Ir. Shella P. Santoso, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.17.0971

Anggota

(Dr. Ir. Suratno Lourentius, IPM.)  
NIK. 521.87.0127

Anggota

(Ir. Marja Yuliana, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.18.1010

### Mengetahui



(Proktor Ir. Suci Astuti, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.17.0199



UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA  
FAKULTAS TEKNIK



(Ir. Sandy Budiyanto, Ph.D., IPM.)  
NIK. 521.18.0401



UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya sebagai mahasiswa Unika Widya Mandala Surabaya:

**Nama : Eric Alvares**

**NRP : 5203018036**

Menyetujui skripsi/karya ilmiah saya :

Judul :

Pembuatan adsorben komposit dari kombinasi alginat dan kerangka-logam-organik berbasis Fe untuk pemulihan fosfat dari air

untuk dipublikasikan/ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Unika Widya Mandala Surabaya) untuk kepentingan akademik sebatas sesuai dengan Undang-undang Hak Cipta.

Demikian pernyataan persetujuan publikasi karya ilmiah ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 12 April 2022

Yang menyatakan,



(Eric Alvares)  
5203018036

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya sebagai mahasiswa Unika Widya Mandala Surabaya:

**Nama : Stanley Tantoro**

**NRP : 5203018040**

Menyetujui skripsi/karya ilmiah saya :

Judul :

Pembuatan adsorben komposit dari kombinasi alginat dan kerangka-logam-organik berbasis Fe untuk pemulihan fosfat dari air

untuk dipublikasikan/ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Unika Widya Mandala Surabaya) untuk kepentingan akademik sebatas sesuai dengan Undang-undang Hak Cipta.

Demikian pernyataan persetujuan publikasi karya ilmiah ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 12 April 2022

Yang menyatakan,



(Stanley Tantoro)

5203018040

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dinyatakan dalam teks. Seandainya diketahui bahwa skripsi ini ternyata merupakan hasil karya orang lain, maka saya sadar dan menerima konsekuensi bahwa skripsi ini tidak dapat digunakan sebagai syarat untuk memperoleh gelar **Sarjana Teknik**.

Surabaya, 12 April 2022

Mahasiswa,



Eric Alvares  
5203018036

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dinyatakan dalam teks. Seandainya diketahui bahwa skripsi ini ternyata merupakan hasil karya orang lain, maka saya sadar dan menerima konsekuensi bahwa skripsi ini tidak dapat digunakan sebagai syarat untuk memperoleh gelar **Sarjana Teknik**.

Surabaya, 12 April 2022

Mahasiswa,



Stanley Tantoro  
5203018040

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
INTISARI .....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Tujuan Penelitian .....	3
I.3. Pembatasan Masalah .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
II.1. Eutrofikasi .....	4
II.2. Metode Pemulihan Fosfat dari Air .....	5
II.3. Penelitian Adsorpsi Fosfat Terdahulu .....	7
II.4. Performa Beberapa Adsorben dalam Adsorpsi Fosfat .....	9
BAB III. METODE PENELITIAN .....	14
III.1. Alat dan Bahan .....	14
III.2. Pembuatan Adsorben .....	15
III.3. Karakterisasi Adsorben .....	16
III.4. Adsorpsi Fosfat dari Limbah Sintetis .....	17
III.5. Evaluasi Penggunaan Kembali Hidrogel .....	17
III.6. Photorelease Fosfat dari Tiap Adsorben .....	18
III.7. Uji $pH_{pzc}$ .....	18
III.8. Uji Fe dari Larutan Fosfat Sisa .....	18
III.9. Metode Perhitungan .....	19
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
IV.1. Karakterisasi Adsorben .....	25
IV.2. Pengaruh pH pada Kapasitas Adsorpsi Fosfat .....	33
IV.3. Pengaruh Konsentrasi Fosfat terhadap %Removal Adsorpsi Fosfat .....	35
IV.4. Kinetika Adsorpsi .....	36
IV.5. Isoterm Adsorpsi .....	45
IV.6. Termodinamika Adsorpsi .....	52
IV.7. Evaluasi Penggunaan Kembali Hidrogel .....	53
IV.8. Photorelease Fosfat dari Hidrogel .....	54
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	57
DAFTAR PUSTAKA .....	58
LAMPIRAN .....	69



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Struktur Molekul MIL101Fe. Warna merah muda, biru, dan hijau berturut-turut menunjukkan atom Oksigen, Besi, dan Karbon .....	13
Gambar IV.1. Gambar IV.1. (a)Bubuk MIL-100Fe (b)Bubuk MIL-101Fe (c)Bubuk MIL-100Fe (Referensi) (d)Bubuk MIL-101Fe (Referensi) (e)Hidrogel Fe@Alg (f)Hidrogel MIL100Fe@Alg (g)Hidrogel MIL101Fe@Alg .....	26
Gambar IV.2. Hasil Analisa FTIR .....	27
Gambar IV.3. (a)Hidrogel Fe@Alg, (b)hidrogel MIL100Fe@Alg, dan (c)hidrogel MIL101Fe@Alg sebelum dan sesudah peren daman pada pH 2, 4, 12 selama 48 jam .....	28
Gambar IV.4. Grafik $pH_{pzc}$ .....	29
Gambar IV.5. Hasil Analisa XRD (a) MIL-100Fe, (b) MIL-101Fe (c)MOF@Alg .....	31
Gambar IV.6. Penentuan pH optimum masing-masing adsorben.....	33
Gambar IV.7. Adsorpsi pada pH 4 (a), pH 6 (b), dan pH 8 (c) .....	34
Gambar IV.8. Uji besi di dalam larutan fosfat sisa .....	34
Gambar IV.9. Pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap %removal adsorpsi fosfat .....	36
Gambar IV.10. Kinetika Adsorpsi pada pH 6 untuk (a)Fe@Alg, (b)MIL100Fe@ Alg, (c)MIL101Fe@ Alg, (d)MIL100Fe, (e)MIL101Fe .....	39
Gambar IV.11. Kinetika Adsorpsi pada pH 6 dengan fitting menggunakan IPD (a)Fe@Alg, (b)MIL101Fe@Alg, (c)MIL100Fe@Alg, (d)MIL101Fe, (e)MIL100Fe .....	42
Gambar IV.12. Swelling pada hidrogel saat percobaan kinetika adsorpsi pH 6 .....	44
Gambar IV.13. Isoterm Adsorpsi pada suhu 303K (a)Fe@Alg, (b)MIL101Fe@Alg, (c)MIL100Fe@Alg, (d)MIL100Fe, (e)MIL101Fe .....	49
Gambar IV.14. Isoterm Adsorpsi pada suhu 313K (a)Fe@Alg (b)MIL101Fe@Alg (c) MIL100Fe@Alg.....	50
Gambar IV.15. Isoterm Adsorpsi pada suhu 323K (a)Fe@Alg (b)MIL101Fe@Alg (c) MIL100Fe@Alg.....	51
Gambar IV.16. Plot Termodinamika Adsorpsi fosfat oleh hidrogel.....	53
Gambar IV.17. Hasil evaluasi penggunaan Kembali hidrogel .....	54
Gambar IV.18. Mekanisme fotoreaksi antara kation Fe dengan karboksilat pada hidrogel.....	56
Gambar IV.19. Profil Pelepasan fosfat dari hidrogel karena pengaruh cahaya matahari.....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Adsorpsi Fosfat dengan Berbagai Jenis Adsorben .....	7
Tabel IV.1. Luas Permukaan Spesifik dan Diameter Tiap Adsorben .....	32
Tabel IV.2. Parameter kinetika adsorpsi pada pH 6.....	40
Tabel IV.3. Parameter IPD untuk sistem adsorpsi hidrogel-fosfat .....	43
Tabel IV.4. %Swelling hidrogel saat percobaan kinetika adsorpsi pH 6 ....	45
Tabel IV.5. Parameter-parameter isotherm adsorpsi untuk adsorpsi fosfat oleh MOF dan hidrogel .....	52
Tabel IV.6. Parameter Termodinamika Adsorpsi fosfat oleh hidrogel .....	53

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat yang diberikan kepada penulis sehingga berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pembuatan adsorben komposit dari kombinasi alginat dan kerangka-logam-organik berbasis Fe untuk pemulihan fosfat dari air”. Tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Kami menyadari masih banyak kekurangan dari laporan ini, karenanya kami berharap pembaca dapat memberikan kritik dan saran untuk memperbaiki laporan ini. Selesaiannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan baik secara materi maupun moral dari banyak pihak. Oleh sebab itu, kami sebagai calon sarjana yang menulis laporan ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Shella P. Santoso, S.T., Ph.D., IPM. dan Ir. Christian Julius Wijaya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan, bimbingan, serta pengarahan yang baik dan jelas dalam penelitian ini;
2. Ir. Jindrayani Nyoo Putro, Ph.D., IPM; Dr. Ir. Suratno Lourentius., IPM; dan Ir. Maria Yuliana, Ph.D., IPM. selaku Dewan Penguji yang telah memeberikan banyak masukan, kritik, dan saran dalam penelitian ini;
3. Prof. Ir. Suryadi Ismadji, IPM selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
4. Ir. Sandy Budi Hartono, Ph.D, IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
5. Para ketua laboratorium atas izinnya untuk menggunakan fasilitas sarana-prasarana laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;

6. Bapak Hadi Pudjo dan Bapak Novi Triono selaku Laboran atas asistensinya dalam menyediakan kebutuhan selama penelitian meliputi bahan kimia, alat gelas, dan alat-alat instrument;
7. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, yang secara tidak langsung telah membantu kami dalam menyelesaikan skripsi ini;
8. Orang tua, keluarga, dan teman yang senantiasa memberikan dukungan selama penyusunan skripsi;
9. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2018 yang telah mendukung selama proses pembuatan skripsi berlangsung;
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu

Akhir kata, penulis berharap adanya kritikan dan saran dari pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, 12 April 2022

Penulis

## INTISARI

Rendahnya kadar fosfat dalam tanah seringkali terjadi karena proses pelepasan fosfat dari batuan fosfat memerlukan jangka waktu yang panjang, hal ini menjadikan penggunaan pupuk yang mengandung fosfat merupakan hal yang umum untuk menyuplai kebutuhan tanaman akan fosfat. Di sisi lain, penggunaan pupuk mengandung fosfat secara terus-menerus menjadi pemicu kontaminasi air oleh fosfat, yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan eutrofikasi. Pemulihan senyawa fosfat dari air dengan metode adsorpsi dapat menjadi solusi dalam mengatasi kontaminasi fosfat dalam air, adsorben yang mengandung fosfat selanjutnya dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber fosfat untuk mengatasi masalah penipisan fosfat dalam tanah. Dalam penelitian ini, digunakan adsorben komposit yang menggabungkan kerangka-logam-organik (MOF) berbasis logam Fe(III) dengan alginat (Alg), adsorben yang disiapkan antara lain Fe@Alg, MIL100Fe@Alg, MIL101Fe@Alg. Adsorpsi fosfat oleh adsorben diuji dengan menggunakan limbah fosfat sintetik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa adsorpsi fosfat oleh ketiga jenis hidrogel terjadi secara optimum pada pH 6 dan suhu 30°C, dan kondisi setimbang tercapai setelah 8 jam. Ketiga hidrogel mengikuti kinetika adsorpsi pseudo orde 1 yang menandakan adanya gaya elektrostatis antara fosfat dengan Fe. Hasil studi isoterm adsorpsi menunjukkan data kesetimbangan adsorpsi lebih cocok dideskripsikan oleh persamaan isoterm Langmuir, dimana kapasitas adsorpsi maksimum hidrogel Fe@Alg, MIL100Fe@Alg, dan MIL101Fe@Alg berturut-turut adalah 75,244 mg/g, 103,4134 mg/g, dan 109,439 mg/g. Dalam penelitian ini juga dilakukan percobaan kinetika dan isoterm adsorpsi fosfat oleh bubuk MOF dengan kondisi sama (pH 6 dan suhu 30°C) sebagai pembanding. Adsorpsi fosfat oleh kedua bubuk MOF juga selesai dalam waktu 8 jam dimana kapasitas adsorpsi MIL100Fe adalah 60,36 mg/g, sedangkan kapasitas maksimum MIL101Fe adalah 70,26 mg/g. Daya adsorpsi (%Removal) dari hidrogel mengalami penurunan drastic setelah *cycle* kedua. Adsorben yang memuat fosfat juga mengalami fotoreaksi yang mengakibatkan fosfat lepas secara berkala. Fosfat yang dilepas setelah hidrogel terkena sinar matahari selama 6 jam adalah ±6% untuk Fe@Alg, ±2% untuk MIL100Fe@Alg dan MIL101Fe@Alg.