

SKRIPSI

SELULOSA MAGNETIK BERBASIS LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI MATERIAL UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR



Diajukan oleh

Andreas Natajaya

NRP: 5203019002

Felix Natanael Ongkowitzjojo

NRP: 5203019016

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

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

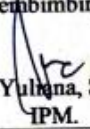
Nama : Andrian Natajaya

NRP : 5203019002

telah diselenggarakan pada tanggal 22 Juli 2022, karenanya yang bersangkutan dapat dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar **Sarjana Teknik** Program Studi **Teknik Kimia**.


Surabaya, 28 Juli 2022

Pembimbing I


Ir. Maria Yuhana, S.T., Ph.D.,
IPM.

NIK 521.18.1010

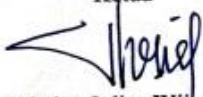
Pembimbing II


Ir. Sheila Permatasari Santoso,
S.T., Ph.D., IPM.

NIK. 521.17.0971


Dewan Penguji

Ketua


Ir. Christian Julius Wijaya, S.T.,
M.T.

NIK 521.17.0948

Sekretaris


Ir. Maria Yuhana, S.T., Ph.D.,
IPM.


NIK 521.18.1010

Anggota


Jenni Lic, S.T., Ph.D.

NIK. 521.17.0949


Anggota


Nathania Puspitasari, S.T.,
Ph.D

NIK. 521.17.0952


Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Suryadi Ismadji, M.T.,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

NIK. 521.93.0198

Ketua Prodi Teknik Kimia


Ir. Sandy Budi Hartono, S.T.,
M.Phil., Ph.D., IPM.

NIK. 521.99.0401

LEMBAR PENGESAHAN

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

Nama : Felix Natanael Ongkowidjojo

NRP : 5203019016

telah diselenggarakan pada tanggal 22 Juli 2022, karenanya yang bersangkutan dapat dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar **Sarjana Teknik** Program Studi **Teknik Kimia**.

Surabaya, 28 Juli 2022

Pembimbing I

Ir. Maria Yuliana, S.T., Ph.D.,
IPM.

NIK. 521.18.1010

Pembimbing II

Ir. Sheila Permatasari Santoso,
S.T., Ph.D., IPM.

NIK. 521.17.0971

Dewan Penguji

Ketua

Ir. Christian Julius Wijaya, S.T.,
M.T.

NIK. 521.17.0948

Sekretaris

Ir. Maria Yuliana, S.T., Ph.D.,
IPM.

NIK. 521.18.1010

Anggota

Jenni Lic, S.T., Ph.D.

NIK. 521.17.0949

Anggota

Nathania Puspitasari, S.T.,
Ph.D.

NIK. 521.17.0952

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Prof. Ir. Suryadi Ismadji, M.T.,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

NIK. 521.93.0198

Ketua Prodi Teknik Kimia

Ir. Sandy Budi Hartono, S.T.,
M.Phil., Ph.D., IPM.

NIK. 521.99.0401

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

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

Nama : Andrean Natajaya
NRP : 5203019002

Menyetujui skripsi/karya ilmiah saya:

Judul :
Selulosa magnetik berbasis limbah sabut kelapa sebagai material untuk pengolahan limbah cair.

untuk dipublikasikan/ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Universitas Katolik 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, 28 Juli 2022

Yang menyatakan,



Andrean Natajaya
NRP. 5203019002

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

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

Nama : Felix Natanael Ongkowidjojo
NRP : 5203019016

Menyetujui skripsi/karya ilmiah saya:

Judul :

Selulosa magnetik berbasis limbah sabut kelapa sebagai material untuk pengolahan limbah cair.

untuk dipublikasikan/ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Universitas Katolik 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, 28 Juli 2022
Yang menyatakan,

Felix Natanael Ongkowidjojo
NRP. 5203019016

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, 28 Juli 2022

Mahasiswa,



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, 28 Juli 2022

Mahasiswa,



Felix Natanael Ongkowitzojo

NRP. 5203019016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmatNya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan akhir skripsi ini dengan tepat waktu. Adapun laporan akhir skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Laporan akhir skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dengan bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Maria Yuliana, S.T., Ph.D., IPM selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan.
2. Ir. Shella Permatasari Santoso, S.T., Ph.D., IPM selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan.
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang secara tidak langsung telah membantu kami dalam melaksanakan penelitian skripsi dan menyelesaikan laporan akhir skripsi.
4. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan secara materi maupun non-materi, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan akhir skripsi.
5. Kami sendiri yang telah memberikan waktu, tenaga, serta pikiran hingga dapat menyelesaikan laporan akhir skripsi.

Kami mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan laporan yang tidak diketahui sebelumnya. Akhir kata, kami berharap semoga laporan akhir skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi para pembaca.

Surabaya, 28 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Persetujuan	iv
Lembar Pernyataan.....	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xiv
Intisari.....	xvi
I. Pendahuluan	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Tujuan	3
I.3. Pembatasan Masalah	3
II. Tinjauan Pustaka.....	5
III. Metode Penelitian.....	19
IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	33
V. Kesimpulan dan Saran	70
Daftar Pustaka	72
Lampiran A	91
Lampiran B.....	97
Lampiran C.....	101
Lampiran D	105
Lampiran E.....	120
Lampiran F.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Selulosa magnetik	10
Gambar II.2.	2,2,6,6-tetramethylpiperidine (TEMPO).....	10
Gambar II.3.	Degradasi RhB dengan reaksi fenton	16
Gambar III.1.	Proses delignifikasi lignoselulosa	21
Gambar III.2.	Reaksi oksidasi TEMPO pada selulosa	22
Gambar III.3.	Proses persipitasi in situ partikel magnetit pada selulosa teroksidasi TEMPO.....	23
Gambar III.4.	Reaksi presipitasi in situ partikel magnetit pada selulosa teroksidasi TEMPO.....	24
Gambar IV.1.	Karakterisasi SEM (a) selulosa studi (perbesaran 1000 kali), (b) selulosa teroksidasi TEMPO studi (perbesaran 1000 kali), (c) (d) selulosa magnetik dengan rasio magnetik dengan variasi rasio massa $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ /massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /volume larutan selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% 1:4,8:100 (perbesaran 1500 kali), (e) selulosa magnetik dengan rasio magnetik dengan variasi rasio massa $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ /massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /volume larutan selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% 1:4,8:25 (perbesaran 1000 kali) (f) selulosa magnetik dengan rasio magnetik dengan variasi rasio massa $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ /massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /volume larutan selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% 1:4,8:25 (perbesaran 15000 kali).....	37
Gambar IV.2.	Gambar spektrum EDX dari (A) selulosa, (B) selulosa teroksidasi TEMPO, (C) selulosa magnetik.....	38
Gambar IV.3.	Karakterisasi XRD studi dan referensi dari selulosa dan selulosa teroksidasi TEMPO.....	39
Gambar IV.4.	Karakterisasi XRD studi dan referensi dari selulosa magnetik	40
Gambar IV.5.	Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi dari selulosa magnetik.....	41
Gambar IV.6.	Tipe adsorpsi berdasarkan IUPAC: (A) tipe isoterm adsorpsi (B) tipe <i>hysteresis loop</i>	42
Gambar IV.7.	Kemampuan paramagnetik dari selulosa magnetik.....	42

- Gambar IV.8.** Diagram hubungan antara rasio massa $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ /massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /volume larutan selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) terhadap kapasitas adsorpsi (Q_e) selulosa magnetik massa sebesar 0,1% (b/v) dengan konsentrasi larutan RhB 100 ppm pada pH 6... 44
- Gambar IV.9.** Grafik pH_{pzc} adsorben selulosa magnetik dengan rasio massa precursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25..... 45
- GambarIV.10.** Grafik hubungan antara variasi konsentrasi awal RhB terhadap kapasitas adsorpsi (Q_e) dengan adsorben selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 pada massa adsorben sebesar 0,01% (b/v) dan pH 6 47
- GambarIV.11.** Diagram hubungan antara jenis adsorben terhadap kapasitas adsorpsi (Q_e) selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 pada massa masing-masing adsorben 0,01% (b/v) dengan konsentrasi larutan RhB 100 ppm dan pH..... 49
- GambarIV.12.** Grafik kinetika adsorpsi pada model kinetika *pseudo-first order* dengan selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 massa adsorben sebesar 0,01% (b/v) dan konsentrasi larutan RhB 103,4028 ppm pada pH 6 50
- GambarIV.13.** Grafik kinetika adsorpsi pada model kinetika *pseudo-second order* dengan selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit: volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 massa adsorben Sebesar 0,01% (b/v) dan konsentrasi larutan RhB 103,4028 ppm pada pH 6 51
- GambarIV.14.** Grafik kinetika adsorpsi pada model kinetika *intraparticle diffusion* dengan selulosa magnetik rasio massa prekursor magnetit :

	volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 sebesar 0,01% (b/v) dengan konsentrasi larutan RhB 103,4028 ppm pada pH 6.....	55
GambarIV.15.	Grafik profil isoterm adsorben selulosa magnetik(A) model BET pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C, (B) model Freundlich pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C, (C) model Dubinin-Radushkevich (D-R) pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C dengan dengan selulosa magnetik rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 sebesar 0,01% (b/v) dengan konsentrasi larutan RhB 103,4028 ppm pada pH 6.....	57
GambarIV.16.	Grafik profil isoterm adsorben selulosa, selulosa teroksidasi TEMPO, magnetit, dan selulosa magnetik rasio massa prekursor magnetit:volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 dengan massa masing-masing adsorben sebesar 0,01% (b/v) dengan konsentrasi larutan RhB 103,4028 ppm pada pH 6 pada suhu 30°C.....	61
GambarIV.17.	Hasil reusability selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25 dengan massa sebesar 0,01% (b/v) dalam adsorpsi RhB dengan konsentrasi awal 103,4028 ppm pada pH 6	63
GambarIV.18.	Mekanisme Adsorpsi dan Degradasi RhB dengan Selulosa Magnetik	67
GambarIV.19.	Grafik hubungan antara variasi pH terhadap kapasitas adsorpsi (Q_e) selulosa magnetik dengan rasio massa prekursor magnetit : volume selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) 1:4,8:25.....	69
Gambar C.1.	Grafik penentuan panjang gelombang.....	102
Gambar C.2.	Grafik linier kurva baku	104
Gambar E.1.	Grafik hubungan antara $1/T$ dengan $\ln k_1$	121
Gambar E.2.	Grafik hubungan antara $1/T$ dengan $\ln K$	123

DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Jenis-jenis adsorben untuk adsorpsi RhB	8
Tabel III.1. Persamaan isoterm	28
Tabel IV.1. Komposisi kimia sabut kelapa sebelum dan sesudah <i>pretreatment</i>	33
Tabel IV.2. Hasil analisa persamaan dari pseudo-order	52
Tabel IV.3. Hasil analisa persamaan dari <i>Intraparticle Diffusion Model</i>	54
Tabel IV.4. Nilai-nilai parameter dari hasil analisa isoterm adsorben selulosa magnetik	58
Tabel IV.5. Parameter Studi Termodinamika	62
Tabel IV.6. Uji T-Test Reusability dari Selulosa Magnetik	64
Tabel IV.7. Uji <i>Total Organic Carbon</i> (TOC)	65
Tabel C.1. Penentuan panjang gelombang maksimum	101
Tabel C.2. Volume larutan induk untuk setiap variasi Konsentrasi	103
Tabel C.3. Nilai absorbansi dengan variasi konsentrasi RhB ..	104
Tabel D.1. Data hasil percobaan pengaruh konsentrasi awal RhB	106
Tabel D.2. Data hasil percobaan variasi pH larutan awal RhB	107
Tabel D.3. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 30°C	109
Tabel D.4. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 40°C	110
Tabel D.5. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 50°C	111
Tabel D.6. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi dengan model <i>Intraparticle Diffusion</i> RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 30°C	112
Tabel D.7. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi dengan model <i>Intraparticle Diffusion</i> RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 40°C	113
Tabel D.8. Data hasil percobaan kinetika adsorpsi dengan model <i>Intraparticle Diffusion</i> RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 50°C	114
Tabel D.9. Data hasil percobaan isoterm adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 30°C	115
Tabel D.10. Data hasil percobaan isoterm adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 40°C	116

Tabel D.11.	Data hasil percobaan isoterm adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik pada suhu 50°C	117
Tabel D.12.	Data perbandingan kapasitas adsorpsi pada penggunaan adsorben selulosa, selulosa teroksidasi TEMPO, magnetit, selulosa magnetik dan tanpa adsorben	119
Tabel E.1.	Data hasil studi kinetika adsorpsi dan degradasi RhB dengan selulosa magnetit	120
Tabel E.2.	Data perhitungan energi aktivasi	121
Tabel E.3.	Data studi termodinamika adsorpsi berdasarkan persamaan BET adsorpsi RhB	122
Tabel E.4.	Parameter perhitungan untuk studi termodinamika adsorpsi RhB.....	123
Tabel E.5.	Studi termodinamika adsorpsi RhB dengan selulosa magnetik.....	125
Tabel F.1.	Data hasil percobaan <i>reusability</i> selulosa magnetik pada suhu 30°C	127

INTISARI

Pada penelitian ini, limbah sabut kelapa akan digunakan sebagai material untuk pembuatan biosorben berbasis selulosa yang memiliki gugus fungsi hidroksil (-OH) dan struktur berpori akan digunakan sebagai penyerap Rhodamin B (RhB) dari limbah cair. Selulosa yang diturunkan dari limbah sabut kelapa akan diaplikasikan dalam bentuk selulosa termodifikasi nanopartikel magnetit (Fe_3O_4). Nanopartikel Fe_3O_4 disintesis pada permukaan selulosa melalui koprinsipitasi dua garam besi yaitu feri klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan fero klorida ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Efektivitas penghilangan RhB diharapkan dapat meningkat dengan adanya peran nanopartikel magnetit sebagai katalis dalam reaksi fenton. Pada penelitian ini, selulosa magnetik mampu menyerap RhB yang dibuktikan dengan tingginya kapasitas adsorpsi yang didapatkan. Selulosa magnetik dengan perbandingan rasio massa $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ /massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /volume larutan selulosa teroksidasi TEMPO 0,7% (b/v) yaitu 1:4,8:25, menjadi komposisi terbaik dengan kondisi adsorpsi pada suhu 30°C , waktu 3 jam, pH 6, *adsorbent loading* 0,01% (b/v), dan penambahan H_2O_2 30% sebanyak 5% (v/v). Selulosa magnetik yang dihasilkan memiliki titik *point of zero charge* (pH_{pzc}) pada pH = 5,9 dan memiliki 9 buah *peak* sudut difraksi (2θ) yang terletak sesuai dengan standar pola dari selulosa dan Fe_3O_4 . Kandungan komponen C, Fe dan O sebesar 44,97%, 31,44% dan 23,58% membuktikan bahwa presipitasi magnetit pada selulosa berhasil. Selulosa magnetik pada studi ini mampu menghasilkan kapasitas maksimum RhB yang terserap sebesar 228,09 mg/g. Model kinetika adsorpsi yang sesuai dengan percobaan kinetika adalah *pseudo-first order* yang menunjukkan mekanisme adsorpsi yang dikontrol secara fisisorpsi. Analisa isoterm dengan persamaan Dubinin-Radushkevich juga mendukung terjadinya proses fisisorpsi pada penyerapan RhB. Sementara itu, analisa Freundlich menyatakan bahwa struktur selulosa magnetik tidak heterogen. Analisa BET dan peninjauan secara termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis dengan nilai entalpi pada lapisan pertama -389,952 kJ/mol dan lapisan atas sebesar -3,4774 kJ/mol. Pada lapisan pertama, proses adsorpsi terjadi secara spontan, sementara lapisan atas terjadi secara tidak spontan karena adanya *energy barrier*. Selulosa magnetik menunjukkan performa yang baik dalam mengadsorpsi RhB dengan Q_e sebesar 228,09 mg/g dan penggunaan kembali hingga 3 kali proses adsorpsi.