

SKRIPSI

**EFISIENSI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN VARIASI WAKTU
KONTAK FITOREMEDIASI DALAM MENYISIHKAN
KANDUNGAN BOD DAN COD**

Diajukan sebagai salah satu persyaratan dalam menyusun Tugas Akhir pada
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik
Universitas Lambung Mangkurat

Dibuat:

Alika Nursavinna

NIM 2110815220013

Pembimbing

Dr. Ir. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si., M.T.

NIP 198411 18200812 2 003



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK LINGKUNGAN

**EFISIENSI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN VARIASI WAKTU
KONTAK FITOREMEDIASI DALAM MENYISIHKAN
KANDUNGAN BOD DAN COD**

OLEH:

Alika Nursavinna (2110815220013)

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji pada hari... tanggal.. dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji:

Ketua : Badaruddin Mu`Min, S.T., M.T.

NIP 197305071998021001

Anggota : Rd. Indah Nirtha N. P., S.T., M.Si

NIP 197706192008012019

Pembimbing : Dr. Ir. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si., M.T.

198411182008122003

Banjarbaru, 23 JUN 2025

diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,**

**Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Lingkungan,**

**Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T.
NIP 197401071998021001**

**Dr. Rizqi Puteri Mahyudin, S.Si, M.S.
NIP 198708282012122001**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Lambung Mangkurat maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing saya.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas mencantumkan daftar rujukan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya sudah bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah saya peroleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Banjarbaru, Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Alike Nursavinna

NIM 2110815220013

ABSTRAK

Industri tempe merupakan salah satu usaha mikro yang berkembang pesat di Kota Banjarbaru. Aktivitas produksi tempe menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik tinggi yang berpotensi menimbulkan pencemaran pada lingkungan sekitar industri tersebut. Karakteristik limbah cair tempe pada penelitian ini mengandung *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 1450 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 4560,2 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik awal limbah cair tempe, menganalisis dan mengidentifikasi persentase efisiensi per set pengolahan dalam menurunkan kandungan BOD dan COD dan menganalisis variasi waktu kontak (*Hydraulic Retention Time*) dengan penurunan terbesar pada unit fitoremediasi dalam menurunkan kandungan polutan pada limbah cair tempe. Penelitian ini dilaksanakan dalam skala laboratorium dengan tiga pasang reaktor yang terdiri unit filtrasi dengan media filter yaitu pasir silika, kerikil dan karbon aktif dan unit fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Hasil penelitian menunjukkan penurunan kandungan polutan setelah dilakukan pengolahan dengan efisiensi terbesar pada set pengolahan R3 keseluruhan sebesar 91,09%, penurunan pada *outlet* filtrasi sebesar 43,97% dan penurunan pada *outlet* fitoremediasi sebesar 84,18% dengan hasil persamaan untuk model regresi polinomial pada set pengolahan limbah cair tempe adalah $y = -0,156x^2 + 6,466x + 29,023$ dan nilai R^2 sebesar 1 untuk penurunan kandungan BOD. Efisiensi penurunan polutan pada set pengolahan R3 secara keseluruhan adalah 85,96%, untuk penurunan pada *outlet* filtrasi adalah 25,37% dan penurunan pada *outlet* fitoremediasi sebesar 80,65% dengan hasil persamaan untuk model regresi polinomial pada set pengolahan limbah cair tempe adalah $y = -0,021x^2 + 6,417x + 20,031$ dan nilai R^2 sebesar 1 untuk penurunan kandungan COD. Analisis kinetika reaksi pada pengolahan limbah cair tempe untuk penurunan parameter BOD menghasilkan persamaan paling cocok menggunakan orde reaksi satu (1) dengan nilai R^2 sebesar 0,9928 dan nilai tetapan laju reaksi $k = 0,156 \text{ hari}^{-1}$. Pada pengolahan limbah cair tempe untuk penurunan kandungan COD menghasilkan model kinetika reaksi yang paling cocok menggunakan orde reaksi nol (0) dengan R^2 sebesar 0,9998 dan nilai tetapan laju reaksi $k = 195,54 \text{ hari}^{-1}$. Waktu kontak fitoremediasi yang paling besar dalam menurunkan kandungan polutan adalah 15 hari dengan kandungan BOD sebesar 129,17 mg/L dan kandungan COD sebesar 640,39 mg/L.

Kata kunci: Limbah Cair Tempe, Fitoremediasi Eceng Gondok, Waktu Kontak, BOD, COD

ABSTRACT

*The tempeh industry is one of the rapidly growing micro-enterprises in Banjarbaru City. The production activities of tempeh generate liquid waste with high organic content, which has the potential to cause environmental pollution around the industrial area. The characteristics of the tempeh wastewater in this study showed a Biological Oxygen Demand (BOD) of 1450 mg/L and a Chemical Oxygen Demand (COD) of 4560.2 mg/L. This study aims to analyze the initial characteristics of tempeh wastewater, examine and identify the percentage efficiency of each treatment set in reducing BOD and COD levels, and analyze the variation in contact time (Hydraulic Retention Time) with the highest pollutant reduction achieved in the phytoremediation unit. The research was conducted on a laboratory scale using three sets of reactors, each consisting of a filtration unit with filter media (silica sand, gravel, and activated carbon) and a phytoremediation unit using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). The results showed a reduction in pollutant levels after treatment, with the highest efficiency observed in treatment set R3, which achieved an overall reduction of 91,09%. The BOD reduction at the filtration outlet was 43,97%, while at the phytoremediation outlet, it was 84,18%. The polynomial regression model for BOD reduction in the tempeh wastewater treatment set was $y = -0,156x^2 + 6,466x + 29,023$, with an R^2 value of 1. The overall pollutant reduction efficiency for COD in treatment set R3 was 85,96%, with a reduction of 25,37% at the filtration outlet and 80,65% at the phytoremediation outlet. The polynomial regression model for COD reduction was $y = -0,021x^2 + 6,417x + 20,031$, with an R^2 value of 1. The kinetic reaction analysis for BOD reduction in tempeh wastewater treatment followed a first-order reaction with an R^2 value of 0.9928 and a reaction rate constant (k) of 0.156 day^{-1} . For COD reduction, the most suitable kinetic model was a zero-order reaction with an R^2 value of 0.9998 and a reaction rate constant (k) of 195.54 day^{-1} . The optimal contact time for phytoremediation in reducing pollutant levels was 15 days, resulting in a BOD concentration of 129.17 mg/L and a COD concentration of 640.39 mg/L.*

Keywords: Tempeh Wastewater, Water Hyacinth Phytoremediation, Hydraulic Retention Time, BOD, COD.

PRAKATA

Puji Syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia bagi umat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Tempe Dengan Variasi Waktu Kontak Fitoremediasi Dalam Menyisihkan Kandungan BOD Dan COD”. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai gelar Sarjana pada Program Studi S-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat. Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah memberikan bimbingan, arahan dan dukungannya khususnya kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga penulis khususnya Bapak Noorbanie Yusuf dan Ibu Atikah yang selalu menjadi sumber semangat dan kekuatan, memberikan dukungan moril dan materil, selalu mendoakan tanpa pernah putus menjadi pondasi kekuatan bagi penulis sampai di titik ini.
3. Ibu Dr. Ir. Nopi Stiyati Prihatini, S. Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan saran, masukan dan wawasan beliau kepada penulis selama penyelesaian skripsi.
4. Bapak Badaruddin Mu'min, S.T., M.T. dan Ibu Rd. Indah Nirtha N. P., S.T., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan selama penyusunan skripsi.
5. Seluruh dosen dan staff Program Studi S-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat yang telah membimbing dan memfasilitasi penulis selama kegiatan perkuliahan.

6. PT Arutmin Indonesia, terima kasih atas bantuan pendidikan yaitu Beasiswa *Effort* yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
7. Muhammad Akbar, terima kasih telah menjadi keluarga terdekat penulis selama di perantauan. Terima kasih untuk seluruh motivasi, inspirasi, dukungan dan waktu yang telah diberikan kepada penulis sejak di dunia perkuliahan dan selanjutnya.
8. Sandrina Dewi Nor Hidayati, Raden Roro Sekar Ningrum, Nor Alfina, Dian Kurniawati, Endah Mustika, Naswa Andinisabrina dan Syifa Salsabila Andini, terima kasih sudah menjadi tempat penulis berbagi suka duka, berkeluh kesah dan canda tawa mengenai hiruk pikuknya dunia organisasi dan perkuliahan.
9. Teman-teman *Coolyeah*, Noor Syifa Salsabila, Putri Ayu Muthya Eliza dan Rahmananda Maulana, terima kasih atas bantuan, kebersamaan dan kenangan yang diberikan kepada penulis.
10. Syifa Fitriana dan Nursyifa Yasmin Rizqia, serta teman-teman lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih telah membersamai dan senantiasa memberikan bantuan dalam perkuliahan kepada penulis.
11. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2021 (Agrapana), terima kasih atas dukungan dan kerja sama yang diberikan selama masa perkuliahan.
12. Abang, Kakak dan Adik INTI HMTL ULM serta rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ULM periode 2023 dan 2024, terima kasih atas dukungan, kenangan dan pelajaran yang berharga bagi penulis.
13. Terakhir, terima kasih kepada Alike Nursavinna yaitu diri sendiri, telah bertahan, berani mencoba dan keluar dari zona nyaman, serta tidak menyerah di tengah beratnya babak kehidupan. Terima kasih telah berjuang untuk selalu memberikan usaha terbaik di setiap proses kehidupan. Terima kasih karena

yakin dan percaya kata-kata “Usaha Tidak Akan Mengkhianati Hasil” itu benar adanya. *You did a great job*, Alika!

Penulis menyadari bahwa semua hal tidak dapat diselesaikan dengan sempurna, khususnya pada skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran agar skripsi ini dapat lebih bermanfaat bagi pembaca, serta dapat meningkatkan wawasan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki pembaca.

Banjarbaru, Juni 2025

Alika Nursavinna
NIM 2110815220013

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	ii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Karakteristik Limbah Cair Tempe	7
2.2 Kualitas Limbah Cair Tempe	8
2.3 Filtrasi	10
2.3.1 Pengertian Filtrasi.....	10
2.3.1.1 Perhitungan Kecepatan Aliran	11
2.3.1.2 Perhitungan Kehilangan Tekanan	12

2.3.1.3	Perhitungan Karakteristik Media Filter (ES, UC dan Porositas)	13
2.3.2	Mekanisme Penyisihan Kontaminan di Filtrasi	16
2.3.3	Jenis Unit Filtrasi	17
2.3.3.1	Rapid Sand Filter	17
2.3.3.2	Slow Sand Filter	17
2.3.4	Media Filter	17
2.4	Fitoremediasi	22
2.4.1	Mekanisme Penyisihan Kontaminan di Fitoremediasi	22
2.4.2	Faktor yang dapat Memengaruhi Fitoremediasi	24
2.4.3	Kriteria Desain	26
2.4.4	Tanaman	28
2.5	Parameter yang diteliti	31
2.6	Studi Pustaka	32
2.7	Hipotesis	33
III.	METODE PENELITIAN	35
3.1	Rancangan Penelitian	35
3.1.1	Variabel Penelitian	36
3.1.2	Kerangka Penelitian	37
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2.1	Waktu Penelitian	38
3.2.2	Tempat Penelitian	38
3.3	Bahan dan Peralatan Penelitian	38
3.3.1	Bahan Penelitian	38
3.3.2	Alat Penelitian	39
3.4	Prosedur Penelitian	39
3.4.1	Persiapan Pengolahan Limbah Cair Tempe	39

3.4.2 Proses Pengolahan Limbah Cair Tempe.....	41
3.4.3 Uji Laboratorium	44
3.4.4 Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.5 Cara Analisis Hasil	45
3.5.1 Analisis untuk Mengetahui Karakteristik Limbah Cair Tempe.....	46
3.5.2 Analisis untuk Mengetahui Persentase Efisiensi Pada Set Pengolahan	46
3.5.3 Analisis untuk Mengetahui Variasi Waktu Kontak yang Paling Optimum dalam Penurunan Kandungan pada Limbah Cair Tempe	47
IV. PEMBAHASAN.....	48
4.1 Analisis Karakteristik Awal Limbah Cair Tempe.....	48
4.2 Analisis Efisiensi Set Pengolahan Limbah Cair Tempe Terhadap Penurunan Parameter Uji	53
4.2.1 Penyisihan Parameter BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	54
4.2.2 Penyisihan Parameter <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	58
4.2.3 Neraca Massa Penyisihan Reaktor	62
4.2.4 Analisis Regresi Set Pengolahan terhadap Penyisihan Parameter Uji.....	69
4.2.5 Analisis Kinetika Reaksi Penyisihan Parameter Uji	72
4.3 Analisis Variasi Waktu Kontak Optimum Untuk Mereduksi Limbah Cair Tempe.....	78
4.3.1 Analisis Variasi Waktu Kontak Optimum pada Unit Fitoremediasi	78
4.3.2 Pengamatan Berat Basah Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	81
V. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86
DAFTAR RUJUKAN	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Limbah Cair Tempe.....	8
Tabel 2. 2 Baku Mutu Limbah Cair Tempe	10
Tabel 2. 3 Kriteria Desain Unit Filtrasi	11
Tabel 2. 4 Kriteria Desain Unit Fitoremediasi Free Water Surface	26
Tabel 2. 5 Penelitian terdahulu yang Berkaitan dengan Penelitian yang Akan Dilakukan.....	32
Tabel 3. 1 Variasi Waktu Kontak	42
Tabel 3. 2 Data yang diperlukan.....	45
Tabel 3. 3 Waktu kontak yang akan dianalisis	47
Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Awal Limbah Cair Tempe	49
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Penurunan Parameter BOD	55
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Penurunan Parameter BOD pada Unit Filtrasi	56
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Penurunan Parameter BOD pada Unit Fitoremediasi..	57
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Penurunan Parameter COD.....	59
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Penurunan Parameter COD pada Unit Filtrasi	60
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Penurunan Parameter COD pada Unit Fitoremediasi .	61
Tabel 4. 8 Hasil Analisis Orde Reaksi Nol (0) pada Parameter BOD	73
Tabel 4. 9 Hasil Analisis Orde Reaksi Satu (1) pada Parameter BOD	74
Tabel 4. 10 Hasil Analisis Orde Reaksi Dua (2) pada Parameter BOD	74
Tabel 4. 11 Hasil Analisis Orde Reaksi Nol (0) pada Parameter COD	76
Tabel 4. 12 Hasil Analisis Orde Reaksi Satu (1) pada Parameter COD	76
Tabel 4. 13 Hasil Analisis Orde Reaksi Dua (2) pada Parameter BOD	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Tempat Penampungan Limbah Cair Tempe	2
Gambar 2. 1	Media Filter Pasir Silika	19
Gambar 2. 2	Media Filter Kerikil	20
Gambar 2. 3	Media Filter Karbon Aktif	22
Gambar 2. 4	Mekanisme Fitoremediasi (Sumber: Sukono et al., 2020).....	23
Gambar 2. 5	Tanaman Eceng Gondok (Sumber: Sutandi et al., 2021).....	29
Gambar 3. 1	Kerangka Penelitian	37
Gambar 3. 2	Rancangan Reaktor Penelitian	41
Gambar 3. 3	Rancangan Reaktor Filtrasi	43
Gambar 3. 4	Rancangan Reaktor Fitoremediasi.....	44
Gambar 4. 1	Limbah Cair Tempe	51
Gambar 4. 2	Reaktor Penelitian	54
Gambar 4. 3	Grafik Efisiensi Penurunan Parameter BOD	58
Gambar 4. 4	Neraca Massa Reaktor Set Pengolahan R1	63
Gambar 4. 5	Neraca Massa Reaktor pada Set Pengolahan R2.....	65
Gambar 4. 6	Neraca Massa Reaktor pada Set Pengolahan R3.....	67
Gambar 4. 7	Grafik Analisis Regresi Parameter BOD	69
Gambar 4. 8	Grafik Analisis Regresi Parameter COD	70
Gambar 4. 9	Grafik Kinetika Reaksi Parameter BOD	72
Gambar 4. 10	Grafik Kinetika Reaksi Parameter COD	75
Gambar 4. 11	Nilai Penurunan Parameter BOD.....	79
Gambar 4. 12	Nilai Penurunan Parameter COD.....	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Kondisi Fisik Reaktor Limbah Cair.....	96
Lampiran B. Perhitungan.....	97
Lampiran C. Tabel Hasil Pengamatan	114
Lampiran D. Hasil Uji Laboratorium Parameter <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD) dan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	117
Lampiran E. Prosedur Pengujian Parameter <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD) dan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	118
Lampiran F. Log Book Penelitian	122

DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

A	= Luas penampang
BOD	= <i>Biological Oxygen Demand</i>
C _i	= Konsentrasi akhir
cm	= Sentimeter
C ₀	= Konsentrasi awal
COD	= <i>Chemical Oxygen Demand</i>
kg/cm ³	= Kilogram per sentimeter kubik
L	= Liter
l/menit	= Liter per menit
m	= Meter
mg	= Miligram
mg/L	= Miligram per liter
pH	= <i>Power of Hydrogen</i>
Q	= Debit aliran (m ³ /s)
H _L	= <i>Headloss</i> (m)
φ	= Faktor bentuk
C _{drag}	= Koefisien drag
g	= Percepatan gravitasi (9,81m/s ²)
ε	= Porositas
v	= Kecepatan aliran (m/jam)
D	= Diameter media filter (m)
N _{Re}	= Bilangan Reynolds
ν	= Viskositas Kinematis
d ₁₀	= Diameter butiran pada persentil 10

- d_{30} = Diameter butiran pada persentil 30
- d_{60} = Diameter butiran pada persentil 60 Diameter butiran pada persentil 60
- V_1 = Volume Awal Air (mL)
- V_2 = Volume Akhir Air (mL)
- V_t = Volume Total (mL)
- $V_{reaktor}$ = Volume reaktor (m³)
- HRT = Waktu retensi (hari)
- HLR = Laju beban hidrolis (m³/ m².hari)
- BOD_{LR} = BOD *Loading Rate* (kg/ha.hari)
- COD_{LR} = COD *Loading Rate* (kg/ha.hari)
- C BOD = Kandungan BOD (mg/L)
- C COD = Kandungan COD (mg/L)
- E (%) = Efisiensi penurunan (%)