

**OPTIMALISASI BIOFILTER ANOXIC- AEROB DAN
ADSORPSI UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN
PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP**

SKRIPSI



Oleh :

ALVIA NURIATI RAMADHANI

NPM. 20034010040

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2024**

**OPTIMALISASI BIOFILTER ANOXIC-AEROB DAN
ADSORPSI UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN
PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik dan Sains Program Studi Teknik Lingkungan
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**



Oleh:

ALVIA NURIATI RAMADHANI
NPM. 20034010040

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

2024

LEMBAR PERSETUJUAN
OPTIMALISASI BIOFILTER ANOXIC-AEROB DAN ADSOROSI
UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN PENCEMAR PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP

Disusun oleh:

ALVIA NURIATI RAMADHANI
NPM. 20034010040

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian/Verifikasi Artikel Ilmiah

Menyetujui,

PEMBIMBING



Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, M.T.
NIP. 19681126 199403 2 001

Mengetahui,

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



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

LEMBAR PENGESAHAN
OPTIMALISASI BIOFILTER ANOXIC-AEROB DAN ADSORPSI
UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN PENCEMAR PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP

Disusun oleh:

ALVIA NURIATI RAMADHANI
NPM. 20034010040

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan
pada **Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan**
Lingkungan (Terakreditasi SINTA 3)

Menyetujui,

PEMBIMBING



Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, M.T.
NIP. 19681126 199403 2 001

TIM PENGUJI

1. Ketua



Dr. Ir. Munawar Ali, M.T.
NIP. 19600401 198803 1 001

2. Anggota



Ir. Yavok Survo Purnomo, M.S.
NIP. 19600601 198703 1 001

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
OPTIMALISASI BIOFILTER ANOXIC-AEROB DAN ADSORPSI
UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN PENCEMAR PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP


Disusun oleh:

ALVIA NURIATI RAMADHANI
NPM. 20034010040


Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 05 November 2024

TIM PENILAI

KETUA


Dr. Ir. Munawar Ali, M.T.
NIP. 19600401 198803 1 001

ANGGOTA


Ir. Yavok Suryo Purnomo, M.S.
NIP. 19600601 198703 1 001

SURAT PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alvia Nuriati Ramadhani
NPM : 20034010040
Fakultas/Program Studi : Teknik dan Sains/Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Optimalisasi Biofilter *Anoxic*-Aerob dan Adsorpsi
untuk Menurunkan Kandungan Pencemar Pada
Limbah Cair Industri Kecap

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan di setujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun, sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Surabaya, 7 November 2024
Yang Menyatakan



(Alvia Nuriati Ramadhani)

ABSTRAK

OPTIMALISASI BIOFILTER *ANOXIC*-AEROB DAN ADSORPSI DALAM MENURUNKAN KANDUNGAN PENCEMAR PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP

ALVIA NURIATI RAMADHANI

NPM. 20034010040

Peningkatan kebutuhan kecap nasional berdampak pada besarnya produksi yang dilakukan oleh industri kecap. Produksi yang dilakukan berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan. Namun, saat ini beberapa dari industri kecap di Indonesia belum melakukan pengolahan air limbah secara maksimal. Salah satunya pada industri kecap yang berada di Kota Madiun, Indonesia. Hasil pengujian pada air limbah industri kecap belum memenuhi baku mutu berdasarkan peraturan yang berlaku. Kombinasi biofilter *anoxic*-aerobik dan kolom adsorpsi dipilih untuk menyisahkan pencemar pada limbah cair industri kecap. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh jenis media, jumlah bak, waktu sampling, jenis adsorben dan ketinggian adsorben pada kombinasi biofilter dan adsorpsi serta menganalisis mikroorganisme yang berperan pada pengolahan biologis. Metode penelitian secara kuantitatif skala laboratorium dengan volume total 110 L dan debit 0,216 m³/hari. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kombinasi paling optimal yaitu 3 bak biofilter *anoxic* dan 1 bak aerob dengan media bioball, 1 bak sedimentasi dan adsorpsi menggunakan adsorben *Granular Activated Carbon* (GAC) dengan ketinggian adsorben 18 cm pada waktu sampling 72 jam. Kombinasi hybrid biofilter *anoxic*-aerob dan adsorpsi tersebut dapat menyisahkan zat pencemar organik BOD₅ sebesar 89,90%, COD sebesar 90,40%, TSS sebesar 96,43%, total nitrogen sebesar 94,23%, total fosfat sebesar 81,60%, warna sebesar 93,43%, TDS sebesar 38,10% dan oksigen terlarut sebesar 5,4 mg/L dengan pH 6,1 dan suhu 28,7°C dengan mikroba pendegradasinya berasal dari limbah air kecap itu sendiri.

Kata Kunci: air limbah kecap, biofilter *anoxic*-aerob, kolom adsorpsi, mikroorganisme biologi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF ANOXIC-AEROBIC AND ADSORPTION BIOFILTER IN REDUCING CONTENT OF POLLUTANTS IN LIQUID WASTE OF THE SOY SAUCE INDUSTRY

ALVIA NURIATI RAMADHANI

NPM. 20034010040

Increased national soy sauce needs impact the size of production carried out by the soy sauce industry. However, at present, some of the soy sauce industries in Indonesia have not performed maximum wastewater treatment. One of them is in the soy sauce industry in Madiun City, Indonesia. The test results for the soy sauce industry have not met the quality standards under the applicable regulations. A combination of anoxic-aerobic biofilters and adsorption columns is selected to isolate pollutants in the soy sauce industry's wastewater. This study aims to analyze the influence of medium type, compartment quantity, sampling time, type of adsorbent, and adsorbent height on the combination of the biofilter and the adsorption, as well as the microorganisms involved in biological processing. Quantitative laboratory-scale research method with a total volume of 110 L and a discharge of 0,216 m³/day. Based on the results of the research, the most optimal combination is 3 anoxic biofilter compartments, 1 aerobic compartment with bioball media, and 1 sedimentation compartment and adsorption column using Granular Activated Carbon (GAC) adsorbents with an adsorbence height of 18 cm at a sampling time of 72 hours. The combination of hybrid anaerobic-aerobic biofilter and such adsorbent can isolate organic pollutants BOD₅ by 89,90%, COD by 90,40%, TSS by 96,43%, total nitrogen by 94,23%, total phosphate by 81,60%, color by 93,43%, TDS by 38,10%, and dissolved oxygen by 5,4 mg/L with a pH of 6,1 and a temperature 28,7 °C, with the microbial degradation coming from the raw water itself.

Keywords: *soy sauce wastewater, anoxic-aerobic biofilters, adsorption columns, biological microorganism*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Optimalisasi Biofilter *Anoxic*-Aerob dan Adsorpsi untuk Menurunkan Kandungan Pencemar Pada Limbah Cair Industri Kecap”** ini dengan baik sesuai waktu yang ditentukan dengan baik dan tepat waktu.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh dalam kurikulum program studi S-1 Teknik Lingkungan dan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur. Dalam penyusunan skripsi ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar- besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, MMT. Selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Firra Rosariawari S.T., M.T. selaku koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT. selaku dosen pembimbing atas kesediaan, kesabaran, dan ilmu yang diberikan dalam setiap proses bimbingan.
5. Dr. Ir. Munawar Ali, MT. dan Ir. Yayok Suryo Purnomo, MS. selaku Dosen Penguji Skripsi yang telah memberi kritik dan saran pada laporan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membagikan ilmu di dalam kelas maupun diskusi di luar kelas.
7. Orang Tua dan keluarga yang selalu ikhlas mendoakan dalam setiap doa yang dipanjatkan yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian laporan.
8. Karyawan Pabrik Kecap Kota Madiun dan Pramesti Wahyu Widiastuti yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian di industri kecap.
9. Teman-teman satu dosen pembimbing dan teman-teman angkatan 2020 yang telah saling membantu dalam memberikan masukan, informasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, 7 November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| KATA PENGANTAR..... | i |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Manfaat..... | 3 |
| 1.5 Lingkup Penelitian | 4 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Tinjauan Umum..... | 5 |
| 2.1.1 Produksi Kecap | 5 |
| 2.1.2 Standar Baku Mutu Air Limbah Industri Kecap | 6 |
| 2.1.3 Karakteristik Parameter Pencemaran Limbah Kecap | 7 |
| 2.1.4 Bakteri <i>Indigenous</i> | 12 |
| 2.1.5 Pengolahan Biologis | 13 |
| 2.1.6 Pengaruh Jenis Media Pada Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> | 22 |
| 2.1.7 Mekanisme Perkembangan Mikroorganisme..... | 27 |
| 2.1.8 Faktor-faktor yang Memengaruhi Proses Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> .. | 29 |
| 2.1.9 Rumus Perhitungan | 30 |
| 2.1.10 Media Penyangga | 32 |
| 2.1.11 Lapisan Biofilm..... | 33 |
| 2.1.12 <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi | 33 |
| 2.1.12 Aerasi | 34 |
| 2.1.13 Adsorpsi | 37 |
| 2.1.14 Kriteria Perencanaan Unit Pengolahan | 45 |
| 2.2 Landasan Teori | 46 |
| 2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya..... | 49 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 55 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.1 | Kerangka Penelitian | 55 |
| 3.1.1 | Ide Penelitian..... | 57 |
| 3.1.2 | Studi Literatur | 58 |
| 3.1.3 | Persiapan Penelitian | 58 |
| 3.1.4 | Persiapan Alat dan Bahan | 58 |
| 3.1.5 | Penelitian Pendahuluan | 59 |
| 3.1.6 | Penelitian Utama | 59 |
| 3.1.7 | Variabel Penelitian | 59 |
| 3.1.8 | Pengumpulan Data Penelitian | 59 |
| 3.1.9 | Analisis Data | 60 |
| 3.2 | Bahan dan Alat | 60 |
| 3.2.1 | Bahan Penelitian..... | 60 |
| 3.2.2 | Alat Penelitian..... | 61 |
| 3.2.3 | Rancangan Reaktor | 62 |
| 3.3 | Cara Kerja..... | 63 |
| 3.3.1 | Tahap Persiapan | 63 |
| 3.3.2 | Tahap Penelitian Pendahuluan | 63 |
| 3.3.3 | Tahap Penelitian Utama | 67 |
| 3.4 | Variabel | 69 |
| 3.5 | Analisis..... | 71 |
| 3.6 | Jadwal Kegiatan | 74 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 75 |
| 4.1 | Analisis Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Pada Biofilter <i>Anoxic</i> -Aerob Dalam Menurunkan Parameter Pencemar Pada Limbah Cair Industri Kecap | 75 |
| 4.1.1 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter BOD ₅ | 77 |
| 4.1.2 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter COD | 81 |
| 4.1.3 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter TSS..... | 84 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1.4 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter Total N | 86 |
| 4.1.5 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter Total P | 90 |
| 4.1.6 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter Warna | 92 |
| 4.1.7 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak dan Waktu Sampling terhadap Peningkatan Parameter <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) | 96 |
| 4.1.8 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)..... | 97 |
| 4.1.9 | Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap pH dan Suhu..... | 99 |
| 4.1.10 | Analisis <i>Organic Loading Rate</i> dan <i>Hydraulic Loading Rate</i> | 101 |
| 4.1.11 | Uji Statistika <i>Hybrid Biofilter Anoxic-Aerob</i> | 102 |
| 4.2 | Analisis Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Pada <i>Hybrid Biofilter Anoxic-Aerob</i> dan Adsorpsi..... | 117 |
| 4.2.1 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter BOD ₅ | 118 |
| 4.2.2 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter COD | 122 |
| 4.2.3 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter TSS..... | 125 |
| 4.2.4 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter Total Nitrogen | 127 |
| 4.2.5 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter Total P | 130 |
| 4.2.6 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Parameter Warna | 133 |
| 4.2.7 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan Parameter <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)..... | 136 |
| 4.2.8 | Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penurunan TDS..... | 138 |

| | | |
|---|--|------------|
| 4.2.9 | Uji Statistika <i>Hybrid</i> Biofilter <i>Anoxic</i> -Aerob dan Adsorpsi | 140 |
| 4.3 | Identifikasi Bakteri Indigenus yang Berperan Dalam Pengolahan Menggunakan Biofilter <i>Anoxic</i> -Aerob | 153 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 157 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 157 |
| 5.2 | Saran | 158 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 159 |
| LAMPIRAN..... | | 173 |
| | LAMPIRAN A HASIL ANALISIS | 173 |
| | LAMPIRAN B PROSEDUR ANALISIS DAN PERHITUNGAN | 210 |
| | LAMPIRAN C DOKUMENTASI | 218 |
| | LAMPIRAN D PERHITUNGAN REAKTOR | 223 |
| | LAMPIRAN E HASIL PENGUJIAN AIR LIMBAH | 238 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Diagram Alir Produksi Kecap | 6 |
| Gambar 2.2 Bagan Proses Anaerobik..... | 17 |
| Gambar 2.3 Kelompok Bakteri Metabolik yang Terlibat dalam Penguraian Limbah pada Proses Anaerobik | 18 |
| Gambar 2.4 Reaksi Perubahan Biokimia dalam Digester Aerobik | 20 |
| Gambar 2.5 Biofilter Anaerob-Aerob..... | 21 |
| Gambar 2.6 Media <i>Bioball</i> | 25 |
| Gambar 2.7 Media Sarang Tawon..... | 26 |
| Gambar 2.8 Pertumbuhan Biomassa | 28 |
| Gambar 2.9 Kulit Singkong..... | 41 |
| Gambar 2.10 Hasil Analisa SEM adsorben kulit singkong: (a) adsorben kulit singkong tampak depan, (b) adsorben kulit singkong tampak samping | 42 |
| Gambar 2.11 Hasil Uji SEM Karbon Aktif Kulit Singkong (a) sebelum diaktivasi (b) sesudah diaktivasi..... | 42 |
| Gambar 2.12 Granular Activated Carbon..... | 44 |
| Gambar 2.13 Uji SEM GAC sebelum dan sesudah regenerasi. (a) Karbon awal; (b) 40 kHz; (c) 80 kHz; (d) 120 kHz..... | 44 |
| Gambar 3.1 Kerangka Penelitian..... | 57 |
| Gambar 3.2 Rancangan Reaktor Penelitian | 62 |
| Gambar 4.1 Endapan Pada Media Bioball Biofilter Anaerob | 75 |
| Gambar 4.2 Biofilm (a) Media Sarang Tawon; (b) Media Bioball | 76 |
| Gambar 4.3 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan BOD ₅ | 78 |
| Gambar 4.4 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan COD..... | 81 |
| Gambar 4.5 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Penurunan TSS..... | 84 |
| Gambar 4.6 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Total N..... | 87 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.7 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Total P | 90 |
| Gambar 4.8 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling terhadap Penyisihan Parameter Warna | 93 |
| Gambar 4.9 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Peningkatan DO | 96 |
| Gambar 4.10 Hubungan Jumlah Bak, Jenis Media dan Waktu Sampling Terhadap Penurunan TDS | 98 |
| Gambar 4.11 Nilai pH Pada Biofilter Anoxic-Aerob Selama Proses Running . | 100 |
| Gambar 4.12 Nilai Suhu Pada Biofilter Anoxic-Aerob Selama Proses Running | 101 |
| Gambar 4.13 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan BOD ₅ terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 103 |
| Gambar 4.14 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan COD terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 104 |
| Gambar 4.15 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan TSS terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 106 |
| Gambar 4.16 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Total N terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 107 |
| Gambar 4.17 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Total P terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 109 |
| Gambar 4.18 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Warna terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 110 |
| Gambar 4.19 Hasil Anova Two Way Hubungan Kadar DO terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 112 |
| Gambar 4.20 Hasil Anova Two Way Hubungan pH terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 113 |
| Gambar 4.21 Hasil Anova Two Way Hubungan Perubahan Suhu terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 115 |
| Gambar 4.22 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan TDS terhadap Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling | 116 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.23 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan BOD ₅ Media Biofilter Bioball | 119 |
| Gambar 4.24 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan BOD ₅ Media Biofilter Sarang Tawon | 119 |
| Gambar 4.25 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan COD Media Biofilter Bioball | 122 |
| Gambar 4.26 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan COD Media Biofilter Sarang Tawon..... | 122 |
| Gambar 4.27 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penurunan TSS Pada Hybrid Biofilter Media Bioball dan Adsorpsi..... | 125 |
| Gambar 4.28 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penurunan TSS Pada Hybrid Biofilter Media Sarang Tawon dan Adsorpsi | 125 |
| Gambar 4.29 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total N Media Biofilter Bioball | 128 |
| Gambar 4.30 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total N Media Biofilter Sarang Tawon..... | 128 |
| Gambar 4.31 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total P Media Biofilter Bioball | 130 |
| Gambar 4.32 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total P Media Biofilter Sarang Tawon | 130 |
| Gambar 4.33 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Warna Media Biofilter Bioball | 133 |
| Gambar 4.34 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Warna Media Biofilter Sarang Tawon..... | 133 |
| Gambar 4.35 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan DO Media Biofilter Bioball | 136 |
| Gambar 4.36 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan DO Media Biofilter Sarang Tawon | 137 |
| Gambar 4.37 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan TDS Media Biofilter Bioball | 138 |
| Gambar 4.38 Hubungan Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan TDS Media Biofilter Sarang Tawon..... | 139 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.39 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan BOD ₅ terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 140 |
| Gambar 4.40 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan COD terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 142 |
| Gambar 4.41 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan TSS terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 143 |
| Gambar 4.42 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Total N terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 144 |
| Gambar 4.43 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Total P terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 146 |
| Gambar 4.44 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan Warna terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 147 |
| Gambar 4.45 Hasil Anova Two Way Hubungan Perubahan DO terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 148 |
| Gambar 4.46 Hasil Anova Two Way Hubungan Perubahan pH terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 150 |
| Gambar 4.47 Hasil Anova Two Way Hubungan Perubahan Suhu terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 151 |
| Gambar 4.48 Hasil Anova Two Way Hubungan Penyisihan TDS terhadap Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben | 152 |
| Gambar 4.49 Bakteri Pseudomonas Aeruginosa (a), Lactobacillus spp (b), Bacillus sp (c)..... | 154 |
| Gambar A1. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan BOD ₅ | 180 |
| Gambar A2. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan COD | 182 |
| Gambar A3. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan TSS | 183 |
| Gambar A4. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Total Nitrogen..... | 185 |
| Gambar A5. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Total Phosphate | 186 |

| | |
|---|-----|
| Gambar A6. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Penyisihan Warna..... | 188 |
| Gambar A7. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Perubahan DO | 189 |
| Gambar A8. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Perubahan pH | 191 |
| Gambar A9. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Perubahan Suhu..... | 192 |
| Gambar A10. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Media, Jumlah Bak, dan Waktu Sampling Terhadap Perubahan TDS | 194 |
| Gambar A11. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan BOD ₅ | 195 |
| Gambar A12. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan COD | 197 |
| Gambar A13. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan TSS | 198 |
| Gambar A14. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total N..... | 200 |
| Gambar A15. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Total P | 201 |
| Gambar A16. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Penyisihan Warna | 203 |
| Gambar A17. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan DO..... | 204 |
| Gambar A18. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan pH..... | 206 |
| Gambar A19. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan Suhu | 207 |
| Gambar A20. Hasil Uji ANOVA Two Way Pengaruh Jenis Adsorben dan Ketinggian Adsorben Terhadap Perubahan TDS | 209 |
| Gambar C1. Pengambilan Sampel untuk Uji Karakteristik Awal..... | 218 |
| Gambar C2. Pengecekan Karakteristik Limbah Kecap..... | 218 |

| | |
|--|-----|
| Gambar C3. Persiapan Reaktor | 218 |
| Gambar C4. Pembuatan Adsorben | 219 |
| Gambar C5. Proses Seeding dan Aklimatisasi | 219 |
| Gambar C6. Adsorpsi Column | 220 |
| Gambar C7. Pengujian BOD ₅ | 220 |
| Gambar C8. Pengujian COD | 220 |
| Gambar C9. Pengujian TSS..... | 221 |
| Gambar C10. Pengujian Total N | 221 |
| Gambar C11. Pengujian Total P | 221 |
| Gambar C12. Pengujian DO..... | 222 |
| Gambar C13. Pengujian pH dan Suhu..... | 222 |
| Gambar C14. Pengujian TDS | 222 |
| Gambar D1. Hubungan antara waste water strength dan faktor pengaruhnya terhadap COD removal | 224 |
| Gambar D2. Hubungan Surface area dengan faktor..... | 225 |
| Gambar D3. Hubungan antara HRT dengan faktor terhadap COD removal..... | 225 |
| Gambar E1. Hasil Pengujian Karakteristik Awal Limbah Kecap | 238 |
| Gambar E2. Hasil Pengujian Awal Karakteristik Warna Limbah Kecap | 239 |
| Gambar E3. Hasil Uji Warna Effluent | 205 |
| Gambar E4. Hasil Uji Mikrobiologi..... | 207 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Kecap | 7 |
| Tabel 2.2 Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter | 24 |
| Tabel 2.3 Kriteria Desain Unit Pengolahan..... | 45 |
| Tabel 2.4 Hasil Penelitian Sebelumnya..... | 50 |
| Tabel 3.1 Desain Reaktor Unit Utama Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> | 63 |
| Tabel 3.2 Hasil Uji Awal Karakteristik Air Limbah Industri Kecap | 64 |
| Tabel 3.3 Matriks Penelitian Utama (Secara Continue)..... | 70 |
| Tabel 3.4 Jadwal Penelitian..... | 74 |
| Tabel 4.1 Persen Removal Parameter Pencemar Pada Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> ...77 | |
| Tabel 4.2 Hasil Analisis Pada Hybrid Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> dan Adsorpsi ... | 117 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Mikroorganismes Pada Pengolahan Air Limbah Kecap | 154 |
| Tabel A1. Pengujian Pada Proses Seeding..... | 173 |
| Tabel A2. Hasil Pengukuran pH dan Suhu Saat Seeding..... | 173 |
| Tabel A3. Persentase Penyisihan COD Pada Proses Aklimatisasi..... | 173 |
| Tabel A4. Hasil Analisis COD Proses Aklimatisasi | 174 |
| Tabel A5. Hasil Analisis Pada Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> | 175 |
| Tabel A6. Hasil Analisis Pada Proses Adsorpsi | 177 |
| Tabel A7. Hasil Analisis pH dan Suhu Pada Biofilter <i>Anoxic-Aerob</i> | 179 |