



**PENGEMBANGAN MODEL BIOREMEDIASI AIR LIMBAH BATIK  
SECARA FISIK DAN BIOLOGI MENGGUNAKAN KONSORSIUM  
*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* DAN BAKTERI  
INDIGENOUS**

**BUNYAMIN MUCHTASJAR  
NIM. 30000216510006**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2023**

PENGEMBANGAN MODEL BIOREMEDIASI AIR LIMBAH BATIK  
SECARA FISIK DAN BIOLOGI MENGGUNAKAN KONSORSIUM *Eichhornia  
crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* DAN BAKTERI INDIGENOUS

Disertasi  
Untuk Memperoleh Gelar Doktor  
Dalam Ilmu Lingkungan Pada Universitas Diponegoro



Untuk dipertahankan di hadapan  
Dekan Sekolah Pascasarjana dan Tim Penguji pada Ujian Tertutup Disertasi  
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro  
Pada tanggal 26 Juni 2023 pukul 10.00 WIB

Oleh

Bunyamin Muchtasjar  
NIM. 30000216510006

Lahir di Banyumas

PENGEMBANGAN MODEL BIOREMEDIASI AIR LIMBAH BATIK  
SECARA FISIK DAN BIOLOGI MENGGUNAKAN KONSORSIUM *Eichhornia  
crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* DAN BAKTERI INDIGENOUS

Oleh

Bunyamin Muchtasjar  
NIM. 30000216510006

Telah disetujui dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 26 Juni 2023  
oleh Tim Penguji Program Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Promotor

Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, ST., MSc., IPU.  
NIP. 197510281999031004

Ko Promotor

Dr. Munifatul Izzati, M.Sc.  
NIP. 19581011986032002

Mengetahui,

Dekan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro



Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.  
NIP. 196701011991031005

Ketua Program Studi  
Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.  
NIP. 197508241999031003

PERSETUJUAN PENGUJI

PENGEMBANGAN MODEL BIOREMEDIASI AIR LIMBAH BATIK  
SECARA FISIK DAN BIOLOGI MENGGUNAKAN KONSORSIUM *Eichhornia*  
*crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* DAN BAKTERI INDIGENOUS

Oleh

Bunyamin Muchtasjar  
NIM. 30000216510006

Telah disetujui oleh :

Pimpinan Sidang

Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.




Sekretaris Sidang

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.

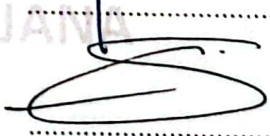


Anggota Tim Penguji

Dr. Eko Agus Suyono, M.App.Sc.



Prof. Dr. Tri Retnaningsih Soeprobowati, M.App.Sc.



Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc.

Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, ST., MSc., IPU.

.....

Dr. Munifatul Izzati, M.Sc.



## PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah rabbil 'alamin*, dengan mengucapkan syukur kupersembahkan karya kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi :

1. Bapak Sawab (alm), ibu Siti Aminah (almh) dan ibu Aisyah Nastiti (almh) terima kasih sudah mendidik dan membesarkan dengan penuh kasih sayang, perjuangan dan kesabaran, Barakallah, Jazakallah, semoga Bapak dan Ibu senantiasa diberikan kedamaian dan kebahagiaan serta ditempatkan di tempat terbaik disisi-Nya.
2. Istriku tercinta Sri Yani dan anak-anaku tersayang Naufal Irfan Fadila dan Wildan Dzaka Tafdhila, Jazakallah Khairan Katsiran atas ridho, doa, dukungan, motivasi, bantuan, semangat, inspirasi, arahan, dan harapan. Semoga Allah membalasmu dengan kebaikan, memberikan kemudahan, kelancaran sehat, dan umur panjang.
3. Kakak-kakaku : Hesa Kodratnoto (alm), Toto A' Toen dan Ita Lestari, serta adik-adiku : Siti Rofiqoh, Fanani Zuhri, Safitri Mukarromah, dan Basit Hudaefah.
4. Keluarga besar mbah Madisman, mbah Mansyur, mbah Sumantri

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Bunyamin Muchtasjar  
NIM : 30000216510006  
Mahasiswa : Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan  
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Disertasi yang berjudul “Pengembangan Model Bioremediasi Air Limbah Batik Secara Fisik dan Biologi Menggunakan Konsorsium *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* dan Bakteri Indigenou” merupakan karya ilmiah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Doktor) di perguruan tinggi manapun.
2. Disertasi ini adalah murni ide, rumusan dan hasil penelitian saya, serta dilakukan tanpa bantuan orang lain, kecuali Tim Promotor dan Tim Penguji.
3. Disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan judul aslinya serta dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh dan sanksi lain sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Semarang, Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Bunyamin Muchtasjar

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan pada hari Selasa Kliwon tanggal 12 Mei 1970 di Banyumas. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara, dari Bapak Sawab (alm) dan Ibu Siti Aminah (almh). Istri penulis bernama Apt. Sri Yani, SE., S.Farm. putra dari Bapak Marman dan Ibu Sanirah. Penulis mempunyai dua orang anak yaitu Naufal Irfan Fadila dan Wildan Dzaka Tafdhila. Penulis bertempat-tinggal di Griya Sokaraja Permai blok C 17 RT 08 RW 02 Sokaraja Kidul, Kecamatan Sokaraja Kabupaten Banyumas.

Pendidikan yang pernah ditempuh oleh penulis adalah TK Pertiwi Karangjati, SDN 1 Pesantren Tambak (kelas 1 – 3), SDN 3 Kecila Kemranjen (kelas 4 – 6), SMPN 2 Maos Cilacap (kelas 1), SMPN 1 Sumpiuh Banyumas (kelas 2 – 3), SMAN 1 Banyumas. Gelar Sarjana diperoleh di Sekolah Teknik Lingkungan Yogyakarta pada tahun 1997, kemudian gelar Magister diperoleh dari program studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung pada tahun 2006.

Pada tahun 1997 - 2004, penulis sebagai dosen tetap di Akademi Kesehatan Lingkungan Muhammadiyah Purwokerto. Sejak tahun 2006 sampai sekarang, penulis sebagai dosen tetap di Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Purwokerto.

Beberapa penelitian yang penulis lakukan dengan sumber dana dari Dirjen Dikti dan pendanaan internal antara lain pengolahan air limbah industri

pengalengan ikan Juifa Food Cilacap, pengolahan air limbah domestik dengan trickling filter, pengolahan air dengan sistem elektrokoagulasi.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang pernah dilakukan penulis dengan sumber dana dari Dirjen Dikti dan pendanaan internal diantaranya pengembangan potensi wisata Baturraden, pengembangan desa wisata gilar-gilar, pelatihan penyusunan dokumen lingkungan bagi anggota PDM Banyumas, penyuluhan sadar lingkungan kepada perajin batik di Sokaraja.

Publikasi yang sudah penulis lakukan dalam kurun waktu menempuh studi S3 di Program Doktor Ilmu Lingkungan Undip adalah :

1. Microbial degradation of batik waste water treatment in Indonesia, The 1st International Conference on Environmental Sciences (ICES2018), <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/314/1/012020/meta>
2. The Ability of Water Hyacinth (*Eichhornia crasipes* Mart.) and Water Lettuce (*Pistia stratiotes* Linn.) for Reducing Pollutants in Batik Wastewater, The 3rd International Conference on Bio-Energy and Environmentally Agricultural Technologies (ICoN-BEAT), [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/02/e3sconf\\_icon-beat2019\\_00010/e3sconf\\_icon-beat2019\\_00010.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/02/e3sconf_icon-beat2019_00010/e3sconf_icon-beat2019_00010.html)
3. Education, Age, Gender, and Public Perception of Batik Waste Pollution in Sokaraja's Batik Industrial Area ; Azerbaijan Medical Journal ; Paper ID: AMJ-29-03-2023-11391 ; <https://www.azerbaijanmedicaljournal.com/search-article>



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi 'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Disertasi dengan judul “Pengembangan Model Bioremediasi Air Limbah Batik Secara Fisik dan Biologi Menggunakan Konsorsium *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* dan Bakteri Indigenus” dengan tujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Doktor. Kajian ilmiah ini dapat digunakan sebagai solusi permasalahan pengelolaan air limbah batik di Sokaraja.

Pada penulisan disertasi ini, penulis mengalami banyak kesulitan dan hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak maka disertasi ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada

1. Prof. Dr. Yos Johan Utama, S.H., M.Hum. selaku Rektor Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan penulis untuk mengenyam pendidikan S3 Ilmu Lingkungan.
2. Dr. R.B. Sularto, SH., M.Hum. selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro yang telah memberikan arahan dan petunjuk kepada penulis untuk dapat menimba ilmu secara baik.
3. Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro dan menjadi penguji 3.

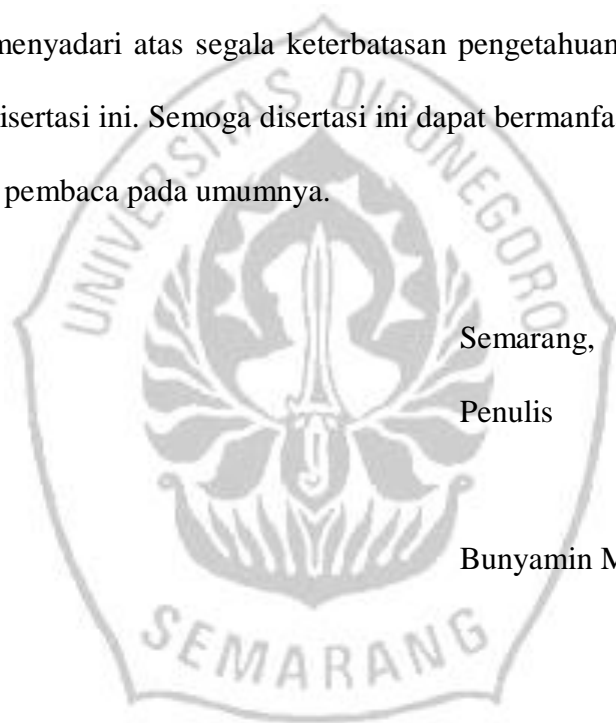
4. Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, ST., M.Sc. IPU. selaku Promotor yang dengan sabar mengarahkan, mengoreksi kalimat demi kalimat menjadi lebih bermakna, membimbing dan memberi wawasan baru dalam penulisan artikel ilmiah dan penulisan disertasi.
5. Dr. Munifatul Izzati, M.Sc. selaku Ko-promotor yang dengan sabar mengarahkan, memberikan masukan sehingga hasil penelitian menjadi lebih bermakna, membimbing dalam penulisan artikel ilmiah dan penulisan disertasi.
6. Prof. Dr. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc. yang bersedia menjadi penguji 1
7. Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc. selaku penguji 2.
8. Dr. Eko Agus Suyono, M.App.Sc. selaku penguji eksternal dari Universitas Gajah Mada.
9. Dosen dan Tendik Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
10. Dekan, dosen, dan tendik Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Purwokerto
11. Teman-teman peneliti dan admin di laboratorium C-Biore pada Laboratorium Terpadu lantai 4 Universitas Diponegoro.
12. Teman sejawat di laboratorium mikrobiologi pada Laboratorium Terpadu Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
13. Rekan-rekan DIL 10 (Poerna Sri Oetari, Adian Khoeroni, Suka Handaya, Bustam Sulaeman (alm), Hasriyanti, Yanie Isworo, Zaulfikar, Irma

Damayanti, Andin Irsadi, Amar Al Khair, Sunarno, Nururrahmah, Supramu) yang selalu kompak, saling mendorong dan menyemangati untuk penyelesaian S3 dengan baik dan membanggakan.

14. Seluruh staf tendik dan karyawan Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro

15. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan secara rinci yang telah banyak membantu

Penulis menyadari atas segala keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dalam menulis disertasi ini. Semoga disertasi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.



Semarang, Juli 2023

Penulis

Bunyamin Muchtasjar

## DAFTAR ISI

Halaman Sampul .....	i
Persetujuan Pembimbing.....	iii
Persetujuan Penguji.....	iv
Persembahan .....	v
Pernyataan Orisinalitas.....	vi
Biodata Penulis.....	vii
Kata Pengantar .....	ix
Daftar Isi.....	xii
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Gambar.....	xviii
Daftar lampiran .....	xxi
Daftar Singkatan.....	xxii
Glosary .....	xxiii
Abstrak .....	xxvi
Abstract .....	xxvii
Ringkasan.....	xxviii
Summary .....	xxxi
BAB I Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	8
1.3. Tujuan Penelitian .....	9

1.4. Manfaat Penelitian .....	10
1.5. Kebaharuan .....	11
1.6. Penelitian Terkait .....	12
<b>BAB II Tinjauan Pustaka .....</b>	<b>15</b>
2.1. Industri Batik Banyumas.....	15
2.2. Produksi Batik.....	19
2.3. Limbah Industri Batik .....	31
2.4. Karakteristik Limbah Industri Batik .....	32
2.5. Dampak Air Limbah Industri Batik .....	34
2.6. Bioremediasi .....	35
2.7. Mekanisme Bioremediasi.....	40
2.8. Potensi Bioremediasi Air Limbah Batik .....	44
2.9. Pengelolaan Air Limbah Batik.....	51
2.10. Bioremediasi pada Air Limbah Batik .....	54
2.11. Interaksi pada Proses Bioremediasi .....	56
2.12. Persepsi Masyarakat Sekitar Industri Batik .....	57
2.13. Model Bioremediasi untuk Limbah Batik.....	58
<b>BAB III Kerangka Teoritis, Kerangka Konsep dan Hipotesis.....</b>	<b>60</b>
3.1. Kerangka Teori.....	60
3.2. Kerangka Konsep.....	61
3.3. Hipotesis.....	62
<b>BAB IV Metode Penelitian .....</b>	<b>63</b>
4.1. Tempat Penelitian.....	63

4.2. Waktu Penelitian .....	63
4.3. Bahan yang Dipergunakan .....	63
4.4. Alat yang Dipergunakan .....	65
4.5. Variabel Penelitian dan Devinisi Operasional .....	67
4.6. Tahapan Penelitian .....	69
4.7. Etika Penelitian pada Masyarakat .....	75
4.8. Cara Kerja Analisis Proses Bioremediasi .....	77
4.9. Metode Bioremediasi .....	86
4.10. Cara Menentukan Metode Bioremediasi yang Paling Efektif.....	87
BAB V Hasil dan Pembahasan .....	88
5.1. Analisis Bakteri Indigenus pada Limbah Batik .....	88
5.2. Penurunan bahan pencemar air limbah batik menggunakan konsorsium bakteri indigenus, <i>Eichhornia crasipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> ), dan <i>Hydrilla verticilata</i> .....	115
5.3. Model bioremediasi yang paling efektif dalam mengatasi masalah pencemaran limbah batik. ....	165
5.4. Persepsi masyarakat dalam pengelolaan air limbah batik.....	170
5.5. Keterbatasan penelitian .....	187
BAB VI Simpulan dan Saran .....	189
6.1. Simpulan .....	189
6.2. Saran.....	190
Daftar Pustaka .....	191

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian terkait .....	13
Tabel 2.1. Industri batik di Sokaraja .....	17
Tabel 2.2. Bahan kimia pada setiap tahapan proses pembuatan batik .....	23
Tabel 2.3. Bahan pewarna alami .....	28
Tabel 2.4. Baku mutu air limbah industri tekstil.....	32
Tabel 4.1. Rancangan penelitian .....	74
Tabel 5.1. Hasil identifikasi dan karakterisasi secara morfologis .....	91
Tabel 5.2. Hasil uji biokimia isolat bakteri indigenus .....	100
Tabel 5.3. Hasil analisis kualitas limbah batik.....	117
Tabel 5.4. Hasil proses filtrasi air limbah batik .....	119
Tabel 5.5. Hasil ujicoba variasi konsentrasi.....	120
Tabel 5.6. Kualitas air limbah batik dengan konsentrasi 4% .....	121
Tabel 5.7. Kriteria desain reactor bioremediasi .....	122
Tabel 5.8. Waktu detensi reaktor .....	123
Tabel 5.9. Waktu tinggal masing-masing model bioremediasi.....	123
Tabel 5.10. Analisis statistik penurunan BOD.....	125
Tabel 5.11. Analisis Games-Howel penurunan BOD .....	126
Tabel 5.12. Analisis statistik penurunan COD.....	132
Tabel 5.13. Analisis Games-Howel penurunan COD .....	132
Tabel 5.14. Analisis statistik penurunan Cr .....	138
Tabel 5.15. Analisis Games-Howel penurunan Cr <sup>6+</sup> .....	139
Tabel 5.16. Analisis statistik penurunan ammonia .....	145
Tabel 5.17. Analisis Games-Howel penurunan ammonia.....	145
Tabel 5.18. Analisis statistik penurunan warna .....	150

Tabel 5.19. Analisis Games-Howel penurunan ammonia.....	151
Tabel 5.20. Hasil analisis konsentrasi logam berat pada air limbah batik pada proses bioremediasi .....	156
Tabel 5.21. Hasil analisis EDX pada stolon tumbuhan eceng gondok .....	163
Tabel 5.22 Efisiensi masing-masing model bioremediasi.....	164
Tabel 5.23. Tabulasi persamaan linier proses bioremediasi .....	169
Tabel 5.24. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi perubahan lingkungan.....	170
Tabel 5.25. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi perubahan lingkungan.....	171
Tabel 5.26. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi kondisi lingkungan.....	172
Tabel 5.27. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi kondisi lingkungan.....	173
Tabel 5.28. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi penanganan permasalahan pencemaran air .....	174
Tabel 5.29. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi penanganan permasalahan pencemaran air .....	175
Tabel 5.30. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi slogan penanganan lingkungan tercemar .....	177
Tabel 5.31. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi slogan penanganan lingkungan tercemar .....	178
Tabel 5.32. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi sampel air tercemar .....	179
Tabel 5.33. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi sampel air tercemar .....	180
Tabel 5.34. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi indikator pencemaran lingkungan.....	180



Tabel 5.35. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi indikator pencemaran lingkungan.....	182
Tabel 5.36. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi peralatan pengolahan limbah .....	183
Tabel 5.37. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi peralatan pengolahan limbah .....	184
Tabel 5.38. Analisis crosstab tingkat pendidikan terhadap persepsi kelayakan air selokan berdasarkan indikator warna .....	185
Tabel 5.39. Analisis hubungan tingkat pendidikan dengan persepsi kelayakan air selokan berdasarkan indikator warna .....	186
tabel 5.40. Resume analisis hubungan persepsi .....	187



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses pembuatan batik .....	22
Gambar 2.2. Mekanisme bioremediasi menggunakan tumbuhan .....	40
Gambar 2.3. Mekanisme degradasi pencemar pada tumbuhan.....	42
Gambar 2.4. <i>Eichhornia crassipes</i> Mart. ....	45
Gambar 2.5. <i>Pistia stratiotes</i> L.f. ....	48
Gambar 2.6. <i>Hydrilla verticillata</i> .....	50
Gambar 2.7. Kemungkinan jalur degradasi air limbah batik .....	55
Gambar 3.1. Kerangka teori penelitian .....	61
Gambar 3.2. Kerangka konsep penelitian .....	62
Gambar 4.1. Lokasi pengambilan sampel.....	66
Gambar 4.2. Model bioremediasi dengan <i>E. crassipes</i> .....	72
Gambar 4.3. Model bioremediasi dengan <i>P. stratiotes</i> .....	72
Gambar 4.4. Model bioremediasi dengan <i>H. verticillata</i> .....	73
Gambar 4.5. Model bioremediasi konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> .....	73
Gambar 4.6. Model bioremediasi konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> .....	73
Gambar 5.1. Kurva pertumbuhan bakteri indigenus .....	90
Gambar 5.2. Hasil pengamatan makroskopis isolat bakteri.....	93
Gambar 5.3. Pengamatan sifat gram isolat bakteri .....	96
Gambar 5.4. Pengamatan sifat endospora isolat bakteri .....	98
Gambar 5.5. Hasil uji sitrat isolat bakteri .....	100
Gambar 5.6. Hasil uji fermentasi karbohidrat isolat bakteri .....	102
Gambar 5.7. Hasil uji indol isolat bakteri .....	104
Gambar 5.8. Hasil uji <i>Methyl Red</i> isolat bakteri .....	105

Gambar 5.9. Hasil uji <i>Voges Proskauer</i> isolat bakteri.....	106
Gambar 5.10. Hasil uji TSIA isolat bakteri.....	107
Gambar 5.11. Hasil bioremediasi dengan limbah asli (a) <i>E. crassipes</i> , (b) <i>P. stratiotes</i> , dan (c) <i>H. verticillata</i> .....	119
Gambar 5.12. Proses filtrasi pada air limbah batik .....	120
Gambar 5.13. Hasil bioremediasi setelah proses filtrasi (a) <i>E. crassipes</i> , (b) <i>P. stratiotes</i> , dan (c) <i>H. verticillata</i> .....	122
Gambar 5.14. Penurunan BOD menggunakan <i>E. crassipes</i> (model 1).....	125
Gambar 5.15. Penurunan BOD menggunakan <i>P. stratiotes</i> (model 2).....	125
Gambar 5.16. Penurunan BOD menggunakan <i>H. verticillata</i> (model 3).....	126
Gambar 5.17. Penurunan BOD menggunakan konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 4) .....	126
Gambar 5.18. Penurunan BOD menggunakan konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 5) .....	126
Gambar 5.19. Efisiensi penurunan BOD pada proses bioremediasi .....	127
Gambar 5.20. Penurunan COD menggunakan <i>E. crassipes</i> (model 1).....	132
Gambar 5.21. Penurunan COD menggunakan <i>P. stratiotes</i> (model 2).....	133
Gambar 5.22. Penurunan COD menggunakan <i>H. verticillata</i> (model 3).....	133
Gambar 5.23. Penurunan COD menggunakan konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 4) .....	133
Gambar 5.24. Penurunan COD menggunakan konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 5) .....	134
Gambar 5.25. Efisiensi penurunan COD pada proses bioremediasi .....	134
Gambar 5.26. Penurunan Cr <sup>6+</sup> menggunakan <i>E. crassipes</i> (model 1) .....	139
Gambar 5.27. Penurunan Cr <sup>6+</sup> menggunakan <i>P. stratiotes</i> (model 2) .....	139
Gambar 5.28. Penurunan Cr <sup>6+</sup> menggunakan <i>H. verticillata</i> (model 3) .....	140

Gambar 5.29. Penurunan $\text{Cr}^{6+}$ menggunakan konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 4) .....	140
Gambar 5.30. Penurunan $\text{Cr}^{6+}$ menggunakan konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 5) .....	140
Gambar 5.31. Efisiensi penurunan $\text{Cr}^{6+}$ pada proses bioremediasi.....	141
Gambar 5.32. Penurunan ammonia menggunakan <i>E. crassipes</i> (model 1) .....	146
Gambar 5.33. Penurunan ammonia menggunakan <i>P. stratiotes</i> (model 2) .....	146
Gambar 5.34. Penurunan ammonia menggunakan <i>H. verticillata</i> (model 3) .....	147
Gambar 5.35. Penurunan ammonia menggunakan konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 4) .....	147
Gambar 5.36. Penurunan ammonia menggunakan konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 5).....	147
Gambar 5.37. Efisiensi penurunan ammonia pada proses bioremediasi.....	147
Gambar 5.38. Penurunan warna menggunakan <i>E. crassipes</i> (model 1).....	152
Gambar 5.39. Penurunan warna menggunakan <i>P. stratiotes</i> (model 2).....	152
Gambar 5.40. Penurunan warna menggunakan <i>H. verticillata</i> (model 3) .....	152
Gambar 5.41. Penurunan warna menggunakan konsorsium <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 4) .....	153
Gambar 5.42. Penurunan warna menggunakan konsorsium bakteri, <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>H. verticillata</i> (model 5).....	153
Gambar 5.43. Efisiensi penurunan warna pada proses bioremediasi.....	153
Gambar 5.44. Hasil analisis SEM pada akar tumbuhan <i>E. crassipes</i> .....	163
Gambar 5.45. Hasil analisis SEM pada tangkai daun (stolon) <i>E. crassipes</i> .....	165
Gambar 5.46. Persamaan linier model bioremediasi pada penurunan BOD.....	169
Gambar 5.47. Persamaan linier model bioremediasi pada penurunan COD.....	169
Gambar 5.48. Persamaan linier model bioremediasi pada penurunan $\text{Cr}^{6+}$ .....	170
Gambar 5.49. Persamaan linier model bioremediasi pada penurunan ammonia	171
Gambar 5.50. Persamaan linier model bioremediasi pada penurunan warna .....	172

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Peta lokasi pengambilan sampel .....	210
Lampiran 2	Data penelitian .....	212
Lampiran 3	Hasil uji statistic.....	229
Lampiran 4	Publikasi ilmiah .....	254
Lampiran 5	Dokumentasi penelitian .....	298



## DAFTAR SINGKATAN

BOD	: Biochemical Oxygen Demand
COD	: Chemical Oxygen Demand
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
MR	: Methyl Red
NA	: Nutrient Agar
SIM	: Sulfida indole motility
TDS	: Total Dissolved Solids
TSIA	: Triple Sugar Iron agar
TSS	: Total Suspended Solid
UKM	: Usaha Kecil Menengah
UNESCO	: United Nation Educational Scientific and Cultural Organization
VP	: Voges-Proskauer



## GLOSSARY

- Absorbansi : Rasio logaritmik dari radiasi yang dipaparkan ke suatu bahan terhadap radiasi yang ditransmisikan menembus bahan
- Adaptasi : Penyesuaian diri
- Akumulasi : Pengumpulan
- Baku mutu air limbah : Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan.
- Batch : Statis atau diam dalam satu wadah
- Biomassa : Senyawa organik yang berasal dari tumbuhan
- Bioremediasi : Penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi polutan di lingkungan
- Canthing : Alat yang dipakai untuk memindahkan atau mengambil cairan yang khas digunakan untuk membuat batik
- Degradasi : Proses penguraian
- Endofilik : Suka tinggal di dalam lingkungannya
- Filtrasi : Pemisahan koloid atau partikel padat dari fluida dengan menggunakan media penyaringan atau saringan
- Fisiologis : Sesuatu yang berkaitan dengan ciri tubuh

Fitoremediasi	: Upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran
Fitoremediator	: Tumbuhan yang berfungsi menghilangkan polutan
Gulma	: Tumbuhan yang tumbuh di sekitaran tanaman budi daya yang kehadirannya tidak diinginkan
Indigenous	: Asli, mengacu pada bakteri pribumi di sebuah wilayah dan cara hidup mereka
Interaksi	: suatu jenis tindakan yang terjadi ketika dua atau lebih objek mempengaruhi atau memiliki efek satu sama lain
Isolat	: Contoh, sampel
Koloni	: Sekumpulan, memiliki ciri yang sama dan mengelompok menjadi satu
Konsorsium	: Kelompok yang terdiri dari dua atau lebih individu, yang bekerjasama untuk mencapai tujuan
Kontaminan	: Pengotor, pencemar
Kuvet	: Bejana kecil berbentuk persegi
Mbathik	: Menorehkan malam ke kain menggunakan canthing
Mbironi	: Menutup warna biru menggunakan malam
Medel	: Pencelupan kain ke dalam zat pewarna
Mutualisme	: Saling menguntungkan
Nembok	: Menutupi kain dengan malam



Ngemplong	: Mencuci kain mori berwarna putih, untuk menghilangkan kanji
Ngerok	: Pelepasan malam secara fisik
Nglorod	: Melepaskan malam
Ngumbah	: Mencuci
Nonbiodegradable	: Tidak bisa diuraikan oleh proses biologi
Nyoga	: Pemberian warna coklat
Nyorek	: Menjiplak gambar
Nyungging	: Proses membuat pola atau motif
Persepsi	: Tindakan menyusun, mengenali, dan menafsirkan informasi sensoris guna memberikan gambaran dan pemahaman tentang lingkungan
Polutan	: Bahan pencemar
Remediasi	: Proses pemulihan dari kondisi terkontaminasi cemaran menjadi kondisi acuan
Simbiosis	: Interaksi biologis antar organisme
Vial	: Botol kaca wadah cairan

## ABSTRAK

Pencemaran lingkungan akibat pembuangan air limbah industri batik di Sokaraja semakin mengkhawatirkan. Penggunaan air untuk proses produksi dalam volume yang besar. Sekitar 80% volume air tersebut akan menjadi limbah. Sumber limbah batik berasal dari proses pewarnaan, pelorodan, dan pencucian. Limbah biasanya langsung dibuang ke sungai. Sampai saat ini, belum ada satupun industri batik yang memiliki instalasi pengolahan air limbah. Akibat pembuangan limbah sembarangan, maka terjadi pencemaran sungai, tanah, dan air tanah. Limbah batik memiliki karakteristik : warna gelap, pekat, dan berbau.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terhadap pencemaran limbah batik tersebut, yaitu dengan model bioremediasi. Bakteri yang berhasil diisolasi pada media agar, selanjutnya diidentifikasi secara morfologi dan biokimia. Karakteristik yang muncul dicocokkan dengan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9<sup>th</sup>*. Tumbuhan yang digunakan untuk bioremediasi yaitu konsorsium *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, dan *Hydrilla verticillata*. Penggunaan tumbuhan secara tunggal dan kombinasi. Parameter yang dianalisis adalah BOD, COD, Cr<sup>6+</sup>, ammonia, dan warna.

Hasil penelitian menunjukkan karakteristik bakteri indigenous adalah : bentuk bacil dan cocci, sifat gram negatif, mampu mendegradasi karbohidrat dan lemak yaitu *Methylococcus*, *Neisseria*, *Deinococcus*, *Sporosarcina*, *Bacillus*, *Mesophylobacter*, *Agrobacterium*, dan *Xanthobacter*. Model bioremediasi yang paling efektif adalah penggunaan konsorsium tumbuhan *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* dan bakteri indigenous. Penurunan bahan pencemar yang paling efektif adalah pada model 5, dengan efisiensi BOD 57,2%, COD 64,7%, Cr<sup>6+</sup> 51,7%, ammonia 51,2%, warna 66,5%, dan waktu penyisihan BOD 13,9 hari, COD 12,29 hari, Cr<sup>6+</sup> 15,42 hari, ammonia 15,48 hari, warna 13,50 hari. Efektivitas penurunan parameter ini berkaitan dengan interaksi antara bakteri indigenous dan tumbuhan. Persepsi masyarakat dalam pengelolaan limbah batik tidak dipengaruhi oleh tingkat pendidikan.

## ABSTRACT

Environmental pollution due to the disposal of wastewater from the batik industry in Sokaraja is increasingly worrying. About 80% of the large volumes of water required for dyeing, wax releasing, and washing during the batik production process becomes waste, which is commonly discharged into rivers. Batik waste is dark, thick, and smelly and there are no wastewater treatment plants in batik industry areas, so rivers, soil, and groundwater are often polluted.

This study aims to provide a solution to the pollution of batik waste, namely a bioremediation model. The presence of indigenous bacteria was identified morphologically, and biochemically. The identification results were matched with Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9<sup>th</sup> ed. The plants used alone or combined for bioremediation were *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, and *Hydrilla verticillata*. The parameters analysed were BOD, COD, Cr<sup>6+</sup>, ammonia, and colour.

The indigenous bacteria were bacilli or cocci in shape, gram-negative, and capable of degrading carbohydrates and fats. Based on Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9<sup>th</sup> ed., the indigenous bacteria were identified as *Methylococcus*, *Neisseria*, *Deinococcus*, *Sporosarcina*, *Bacillus*, *Mesophylobacter*, *Agrobacterium*, and *Xanthobacter*.

The most effective bioremediation model is model 5, with an efficiency of 57.2% BOD, 64.7% COD, 51.7% Cr<sup>6+</sup>, 51.2% ammonia, 66.5% color, and a BOD removal time of 13.9 days, COD 12.29 days, Cr<sup>6+</sup> 15.42 days, ammonia 15.48 days, color 13.50 days. The effectiveness is improved by a mutual interaction between indigenous bacteria and plants. This bioremediation model is expected to be a solution for the small-scale batik industry in overcoming wastewater pollution. Public perception of batik waste management is not influenced by education level.

## RINGKASAN

Air sungai berwarna di Sokaraja menjadi pemandangan yang sudah biasa terjadi. Penyebabnya adalah akibat buangan industri batik. Di Sokaraja terdapat 18 Usaha Kecil Menengah (UKM) batik. Letak UKM ini berada di tengah-tengah permukiman padat penduduk, yang pada akhirnya menimbulkan permasalahan. Hal ini menjadi tantangan tersendiri. Kenyamanan bekerja di rumah sambil mengurus keluarga menjadi pilihan utama. Pembuangan air limbah dalam volume yang besar menjadi masalah yang signifikan. Setiap potong kain membutuhkan air bersih secara ekstensif sejumlah 61,9 liter (Nindita, 2015), dan 80% akan menjadi limbah. Setiap tahapan proses, kain batik harus dicuci, sehingga menghasilkan air limbah dengan volume yang sangat besar. Semakin banyak warna-warni batik, maka air limbah yang dihasilkan semakin besar. Setiap industri memproduksi 50 – 200 potong kain, maka air limbah yang akan dibuang ke sungai sekitar 55 – 300 m<sup>3</sup> per hari. Beban pencemaran sungai di Sokaraja membutuhkan solusi yang tepat. Para pemilik industri batik tidak mampu membangun instalasi pengolahan air limbah, karena biaya konstruksi dan operasional yang sangat tinggi, serta kurangnya penguasaan teknologi pengolahan limbah. Lahan untuk membuat bangunan pengolah limbah, juga terbatas. Oleh karena itu perlu solusi untuk menangani pencemaran air limbah batik.

Penelitian dilakukan dengan membuat model bioremediasi. Alam memiliki potensi yang sangat besar dalam mereduksi berbagai pencemar yang masuk ke lingkungan. Beberapa jenis tumbuhan toleran terhadap berbagai pencemar.

Bakteri indigenous juga dilibatkan pada proses ini. Identifikasi dan karakterisasi bakteri indigenous secara morfologi dan biokimia, selanjutnya dicocokkan dengan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9<sup>th</sup>*. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, dan *Hydrilla verticillata*, serta bakteri indigenous. Parameter yang diamati pada proses bioremediasi adalah BOD, COD, Cr<sup>6+</sup>, ammonia, dan warna.

Hasil penelitian terhadap model bioremediasi untuk mengolah air limbah batik sebagai berikut :

1. Bakteri indigenous yang teridentifikasi memiliki karakteristik : bentuk tidak beraturan, tepi *undulate*, elavasi *pulvinate*, permukaan *wrinkled*, warna *translucent*, ukuran besar, bentuk *basil* dan *cocci*, gram negatif dan menghasilkan *endospore*. Secara biokimia : sitrat positif, mampu memfermentasi glukosa (glukosa, sukrosa, laktosa), indol dan MR positif, VP dan TSIA negatif. Berdasarkan identifikasi dan karakterisasi bakteri tersebut adalah genus : *Mesophilobacter*, *Methylococcus*, *Agrobacterium*, *Neisseria*, *Xanthobacter*, *Deinococcus*, *Sporosarcina*, dan *Bacillus*.
2. Penelitian bioremediasi dalam 5 model, yaitu model 1 menggunakan *E. crassipes*, model 2 menggunakan *P. srtatiotes*, model 3 menggunakan *H. verticillata*, model 4 menggunakan konsorsium *E. crassipes*, *P. srtatiotes*, dan *H. verticillata*. Dan model 5 menggunakan konsorsium bakteri indigenous, *E. crassipes*, *P. srtatiotes*, dan *H. verticillata*.
3. Penurunan bahan pencemar yang paling efektif adalah pada model 5, dengan efisiensi penurunan BOD 57,2%, COD 64,7%, Cr<sup>6+</sup> 51,7%, ammonia 51,2%,

warna 66,5%, dan waktu penyisihan BOD 13,9 hari, COD 12,29 hari,  $\text{Cr}^{6+}$  15,42 hari, ammonia 15,48 hari, warna 13,50 hari

4. Persepsi masyarakat terhadap perubahan lingkungan, kondisi lingkungan yang tercemar, penanganan permasalahan pencemaran, slogan penanganan lingkungan tercemar, sampel air tercemar, indikator pencemaran lingkungan, peralatan pengolahan limbah, dan kelayakan air selokan berdasarkan indikator warna, kesua indikator tersebut berdasarkan hasil analisis statistik dinyatakan tidak ada hubungan dengan tingkat pendidikan.



## SUMMARY

Coloured river water in Sokaraja is a common sight caused by waste from the local batik industry. In Sokaraja there are 18 Small and Medium Enterprises (SMEs) of batik, with most located in the middle of a densely populated settlement. This is a major challenge when considering how to manage waste and river pollution because of the practicality of working at home while taking care of the family. However, the disposal of large volumes of wastewater is a significant problem. At each stage of the batik production process, batik cloth must be washed and each piece of cloth requires an extensive 61.9 L of clean water (Nindita, 2015), of which 80% will become waste. The more colourful batik, the greater the wastewater produced. An SME can produce 50–200 pieces of cloth and discharges around 55–300 m<sup>3</sup> of wastewater into rivers each day. The river pollution problem caused by the batik industry in Sokaraja requires a solution. Batik industry owners cannot likely afford to build wastewater treatment plants due to very high construction and operational costs and a lack of mastery of waste treatment technology. Land for constructing waste processing units is also limited. This research set out to explore a possible solution to the batik wastewater pollution problem in Sokaraja.

This research was based on the bioremediation model. Natural remedies have enormous potential in reducing various pollutants that enter the environment. Some plant species are tolerant to various contaminants and indigenous bacteria are also involved in the process. The identification and characterization of

indigenous bacteria morphologically, and biochemically, allowed them to be matched with Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9<sup>th</sup> ed. The plants used alone or combined were *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata*, as well as indigenous bacteria. The parameters analysed in the bioremediation process were BOD, COD, Cr<sup>6+</sup>, ammonia, and colour.

The outcomes of the bioremediation model for treating batik wastewater are as follows.

1. The identified indigenous bacteria had the following characteristics : irregular shape, undulated edges, pulvinate elevation, wrinkled surface, translucent colour, large size, a bacilli or cocci form, gram-negative, and endospore-producing. Biochemical test: positive for citrate, indole, and MR, negative for VP and TSIA, able to ferment carbohydrates (glucose, sucrose, lactose). Based on the identification and characterization of these bacteria, they matched with the genera *Mesophilobacter*, *Methylococcus*, *Agrobacterium*, *Neisseria*, *Xanthobacter*, *Deinococcus*, *Sporosarcina*, and *Bacillus*.
2. Bioremediation research in 5 models, namely model 1 using *E. crassipes*, model 2 using *P. stratiotes*, model 3 using *H. verticillata*, model 4 using a consortium of *E. crassipes*, *P. stratiotes*, and *H. verticillata*. And model 5 uses a consortium of indigenous bacteria, *E. crassipes*, *P. stratiotes*, and *H. verticillata*.
3. The most effective bioremediation model for treating batik wastewater is model 5, with an efficiency of 57.2% BOD, 64.7% COD, 51.7% Cr<sup>6+</sup>, 51.2%



ammonia, 66.5% color, and a BOD removal time of 13.9 days , COD 12.29 days, Cr<sup>6+</sup> 15.42 days, ammonia 15.48 days, color 13.50 days

4. The public's perception of batik waste management of environmental changes, polluted environmental conditions, handling of pollution problems, slogans for handling polluted environments, polluted water samples, indicators of environmental pollution, waste treatment equipment, and feasibility of sewer water based on color indicators, the two indicators based on the results of statistical analysis are stated to have nothing to do with by education level

