

**EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED BIOFILM*
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON
UNTUK MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH
BATIK SIDOARJO**

SKRIPSI



Oleh:

DWI MULYATI NINGRUM
21034010057

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2025**

**EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED BIOFILM*
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON
UNTUK MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH
BATIK SIDOARJO**

SKRIPSI



Oleh:

DWI MULYATI NINGRUM
21034010057

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR**

**FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2025

**EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED BIOFILM*
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON UNTUK
MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH BATIK SIDOARJO**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST.)
Program Studi Teknik Lingkungan.**

Diajukan Oleh :

DWI MULYATI NINGRUM

NPM: 21034010057

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR**

**FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN
EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED BIOFILM*
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON UNTUK
MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH BATIK SIDOARJO

Disusun Oleh:



Dwi Mulyati Ningrum
NPM: 21034010057

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing



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

Mengetahui,

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



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

LEMBAR PENGESAHAN
EFEKTIVITAS KOMBINASI MOVING BED BIOFILM
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON UNTUK
MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH BATIK SIDOARJO

Disusun Oleh :


Dwi Mulyati Ningrum
NPM: 21034010057

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada *Journal of*
Community Based Environmental Engineering and Management
(Terakreditasi Sinta 3)

Menyetujui,

Pembimbing,


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

TIM PENGUJI

1. Ketua


Firra Rosariawari, S.T., M.T
NIP. 19750409 202121 2 004

2. Anggota,


Aussie Amalia, ST., MSc.
NIP. 172 1992 1124 059

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan "Veteran" Jawa Timur


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

LEMBAR REVISI

**EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED* BIOFILM
REACTOR, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON UNTUK
MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH BATIK SIDOARJO**

Disusun Oleh :



Dwi Mulyati Ningrum
NPM: 21034010057

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 15 September 2025

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA



Firra Rosariawati, S.T., M.T
NIP. 19750409 202121 2 004



Aussie Amalia, ST., MSc.
NIP. 172 1992 1124 059

SURAT PERNYATAAN ORISANILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Mulyati Ningrum
NPM : 21034010057
Fakultas : Teknik dan Sains
Program Studi : Teknik Lingkungan
Email : ningruum.pml@gmail.com
Judul Skripsi/ Tugas Akhir : Efektivitas Kombinasi *Moving Bed Biofilm Reactor*, Adsorpsi, dan Oksidasi Fenton untuk Menurunkan Polutan Air Limbah Batik Sidoarjo

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 akhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui 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 apa pun, sesuai ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Surabaya, 9 September 2025



(Dwi Mulyati Ningrum)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Efektivitas Moving Bed Biofilm Reactor Dan Geopolimer Sekam Padi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Polutan Air Limbah Batik Sidoarjo” dengan baik. Tugas akhir adalah salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memenuhi persyaratan kelulusan program studi Teknik Lingkungan Strata 1 di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Proses penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan setiap saat sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan tugas akhir tepat waktu. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, MMT., IPU selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P. 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, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
5. Kepada Almarhum bapak, cinta pertama penulis, terimakasih telah kebersamai penulis dan selalu ada di setiap momen penting penulis. Ayahanda adalah alasan terkuat penulis untuk terus berjuang hingga titik ini. Maafkan penulis yang belum dapat memberikan hadiah indah saat didunia. Walaupun tak sempat menyaksikan secara langsung, penulis yakin doa dan restunya selalu menyertai. Meskipun telah kembali ke pangkuan Sang Pencipta, semangat bapak masih bergaung di setiap langkah penulis. Skripsi ini kupersembahkan untuk

beliau, sebagai bukti kecil dari doa dan perjuangan yang dulu telah diajarkannya.

Semoga setiap baris kata ini menjadi cahaya yang menerangi peristirahatannya.

6. Kepada Mama tersayang, yang bukan hanya menjadi tempat berbagi cerita dan keluh kesah, tetapi juga menjadi pelindung yang penuh kasih. Yang selalu hadir dalam setiap hari penulis, menyayangi tanpa syarat, dan tak pernah lelah mendoakan penulis. Doa-doanya menjadi cahaya penuntun dalam setiap langkah penulis. Sosok luar biasa yang menjadi bagian terindah dalam hati, tempat surga berada. Terima kasih atas segala cinta dan ketulusan yang tak ternilai yang diberikan kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberi kesembuhan, kesehatan, dan umur panjang yang penuh berkah
7. Terimakasih kepada keluarga kecil yang selalu menyemangati dan mendoakan penulis hingga sampai dititik ini.
8. Terimakasih kepada laila, rosita, safa, agnes, laili, ibu Nisa dan seluruh rekan-rekan teknik lingkungan yang senantiasa menemani dan membantu setiap kesulitan yang dialami penulis.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
ABSTRAK	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Air Limbah Batik	5
2.2. Adsorpsi	6
2.3. Geopolimer	8
2.4. Abu Sekam Padi.....	12
2.5. Moving Bed Biofilm Reactor.....	13
2.6. <i>Advanced Oxidation Process</i> (AOPs).....	15
2.7. Penelitian Terdahulu	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Kerangka Penelitian	23
3.2. Lokasi Pengambilan Sampel.....	24
3.3. Variabel Penelitian.....	24
3.4. Tahapan Penelitian.....	25
3.4.1. Persiapan Alat dan Bahan	25
3.4.2. Preparasi dan Sintesis Geopolimer sekam padi	25
3.4.3. Pembuatan media lekat biofilm alami	27
3.4.4. <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Air Limbah	28
3.4.4.1. Proses <i>Seeding</i>	28
3.4.4.2. Proses Aklimatisasi.....	30

3.4.5.	Proses Penelitian Utama	31
3.4.6.	<i>Post Treatment</i>	32
3.5.	Desain Reaktor Penelitian	32
3.6.	Matriks Penelitian	35
3.7.	Metode Analisis	38
3.8.	Hasil Uji Awal	86
3.9.	Jadwal Kegiatan	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1.	Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) Dan Jenis Media <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> Dalam Mengolah Limbah Batik	40
4.1.1.	Penyisihan COD	40
4.1.2.	Penyisihan BOD ₅	42
4.1.3.	Penyisihan TSS	44
4.1.4.	Penyisihan Warna	46
4.2.	Pengaruh Penambahan Adsorpsi Setelah Reaktor MBBR Terhadap Removal Polutan Limbah Batik.....	48
4.2.1.	Removal <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) Limbah	48
4.2.2.	Removal COD Limbah	51
4.2.3.	Removal BOD ₅ Limbah.....	54
4.2.4.	Removal Warna Limbah.....	57
4.3.	Pengaruh rasio hidrogen peroksida dan ferrosulfat dalam proses oksidasi fenton untuk menurunkan parameter TSS dan Warna.....	60
4.4.	Hasil Uji Statistika ANOVA <i>Two way</i>	62
4.4.1.	Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal TSS ..	62
4.4.2.	Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal Warna	63
4.4.3.	Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal BOD.	63
4.4.4.	Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal COD.	66
4.4.5.	Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal TSS.....	67
4.4.6.	Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal Warna.....	68

4.4.7.	Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal BOD	70
4.4.8.	Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal COD	71
4.5.	Identifikasi Bakteri.....	73
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		76
5.1.	Kesimpulan	76
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN A		85
LAMPIRAN B		88
LAMPIRAN C		99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Limbah Batik	5
Gambar 2. 2 Serbuk Geopolimer	8
Gambar 2. 3 Metode Sol Gel	10
Gambar 2. 4 Metode Hidrotermal Sintesis	10
Gambar 2. 5 Metode Alkali Fusi	12
Gambar 2. 6 Media Kaldness	14
Gambar 2. 7 Jenis Metode AOPs.....	16
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Arang Sekam Padi	26
Gambar 3. 3 Geopolimer Sekam Padi	26
Gambar 3. 4 Biofilm Sebelum dan sesudah seeding	29
Gambar 3. 5 Grafik nilai MLSS	30
Gambar 3. 6 Grafik pH dan Suhu saat seeding.....	30
Gambar 3. 7 Reaktor Penelitian.....	33
Gambar 3. 8 Reaktor Tampak Atas	34
Gambar 4. 1 Grafik Persen Removal COD Reaktor MBBR	41
Gambar 4. 2 Grafik Persen Removal BOD Reaktor MBBR	42
Gambar 4. 3 Grafik Persen Removal TSS Reaktor MBBR.....	44
Gambar 4. 4 Penyisihan Warna Reaktor MBBR.....	46
Gambar 4. 5 Grafik Persen Removal TSS reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi ..	49
Gambar 4. 6 Grafik Persen Removal COD MBBR vs MBBR-Adsorpsi.....	52
Gambar 4. 7 Grafik Persen Removal BOD Reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi	55
Gambar 4. 8 Grafik Persen Removal MBBR vs MBBR-Adsorpsi	58
Gambar 4. 9 Removal TSS dan Warna Proses Fenton	61
Gambar 4. 10 Anova Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal TSS.....	63
Gambar 4. 11 Anova Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal Warna	65

Gambar 4. 12 Anova Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal BOD	64
Gambar 4. 13 Anova Hubungan Antara HRT dan Jenis Media Terhadap Removal COD	66
Gambar 4. 14 Anova Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal TSS	67
Gambar 4. 15 Anova Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal Warna.....	69
Gambar 4. 16 Anova Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal BOD	70
Gambar 4. 17 Anova Hubungan MBBR-Adsorpsi dan Massa Adsorben Terhadap Removal COD	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Tekstil PermenLHK No. 16 Tahun 2019.....	6
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 3. 1 Removal COD saat aklimatisasi.....	31
Tabel 3. 2 Keterangan Reaktor Penelitian.....	33
Tabel 3. 3 Matriks Penelitian	35
Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan	38
Tabel 3. 5 Rancangan Anggaran Biaya	38
Tabel 4. 1 Tabel Penyisihan COD Reaktor MBBR.....	40
Tabel 4. 2 Penyisihan BOD Reaktor MBBR.....	42
Tabel 4. 3 Penyisihan TSS Reaktor MBBR	44
Tabel 4. 4 Penyisihan Warna Reaktor MBBR	46
Tabel 4. 5 Penyisihan TSS reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi.....	48
Tabel 4. 6 Persen Removal TSS reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi	48
Tabel 4. 7 Penyisihan COD MBBR vs MBBR-Adsorpsi	51
Tabel 4. 8 Persen Removal COD MBBR vs MBBR-Adsorpsi	51
Tabel 4. 9 Penyisihan BOD Reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi.....	54
Tabel 4. 10 Persen Removal BOD Reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi	54
Tabel 4. 11 Penyisihan Warna Reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi.....	57
Tabel 4. 12 Persen Removal Warna Reaktor MBBR vs MBBR-Adsorpsi	57
Tabel 4. 13 Penyisihan TSS dan Warna Proses Fenton	60
Tabel 4. 14 Persen removal TSS dan Warna Proses Fenton	60

ABSTRAK

EFEKTIVITAS KOMBINASI *MOVING BED BIOFILM REACTOR*, ADSORPSI, DAN OKSIDASI FENTON UNTUK MENURUNKAN POLUTAN AIR LIMBAH BATIK SIDOARJO

DWI MULYATI NINGRUM

21034010057

Proses produksi batik melewati beberapa tahap yang pada akhirnya dihasilkan limbah yang mengandung salah satunya bahan organik, TSS, dan warna. Salah satu metode yang efektif dan sederhana untuk mengolah air limbah batik adalah dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Gabungan antara pengolahan biologi, fisika, dan kimia mampu menurunkan polutan limbah batik hingga memenuhi baku mutu. Penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis media, *Hydraulic Retention Time*, massa adsorben dan rasio kimia pada *Moving Bed Biofilm Reactor*-Adsorpsi-Oksidasi Fenton terhadap penurunan polutan limbah batik. Hasil penelitian menunjukkan penyisihan COD dan BOD paling baik terdapat pada jenis media kayu pada HRT 48 jam sebesar 90.4% serta 93.94%. Selain itu, dalam penyisihan warna pada air limbah terbaik terjadi pada MBBR media arang kayu HRT 8 jam yaitu 78.93%. Penyisihan TSS paling baik terdapat pada jenis media kaldness K3 pada HRT 48 jam sebesar 88.89%. Nilai penyisihan tertinggi TSS dan warna terdapat pada MBBR K3-adsorpsi massa adsorben 20 gram, HRT 48 jam dengan nilai 94,4% dan 90,3%. Nilai penyisihan tertinggi BOD dan COD terdapat pada MBBR Arang Kayu-adsorpsi massa adsorben 20 gram, HRT 48 jam yaitu secara berturut turut yaitu 95,8% serta 93,6%. Rasio hidrogen peroksida dengan ferrosulfat dalam proses kimia oksidasi fenton setimbang pada rasio 1: 3 dengan penurunan TSS mencapai 97,2% dari nilai awal dan Warna 95,4 %. Sehingga nilai TSS dan Warna akhir pengolahan adalah 10 mg/l dan 46,1 Pt-co.

Kata kunci: *Moving Bed Biofilm Reactor*, Adsorpsi, Fenton Oksidasi, Limbah Batik

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF A COMBINATION OF MOVING BED BIOFILM REACTOR, ADSORPTION, AND FENTON OXIDATION TO REDUCE SIDOARJO BATIK WASTEWATER POLLUTANTS

DWI MULYATI NINGRUM

21034010057

The batik production process goes through several stages, ultimately producing waste containing organic matter, TSS, and dyes. One effective and simple method for treating batik wastewater is using a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). The combination of biological, physical, and chemical treatment can reduce batik wastewater pollutants to meet quality standards. This study aims to determine the effect of media type, hydraulic retention time, adsorbent mass, and chemical ratio in the Moving Bed Biofilm Reactor-Adsorption-Fenton Oxidation on reducing batik wastewater pollutants. The results showed that the best COD and BOD removal were found in the wood media type at HRT 48 hours of 90.4% and 93.94%. In addition, the best color removal in wastewater occurred in the MBBR wood charcoal media HRT 8 hours, namely 78.93%. The best TSS removal was found in the type of media kaldness K3 at HRT 48 hours of 88.89%. The highest TSS and color removal values were found in MBBR K3-adsorption of 20 grams of adsorbent mass, HRT 48 hours with values of 94.4% and 90.3%. The highest BOD and COD removal values were found in MBBR Wood Charcoal-adsorption of 20 grams of adsorbent mass, HRT 48 hours, namely 95.8% and 93.6%, respectively. The ratio of hydrogen peroxide to ferrous sulfate in the chemical process of Fenton oxidation is balanced at a ratio of 1: 3 with a decrease in TSS reaching 97.2% of the initial value and Color 95.4%. So the final TSS and Color values of the processing are 10 mg/l and 46.1 Pt-co.

Keywords: Moving Bed Biofilm Reactor, Adsorption, Fenton Oxidation, Batik Waste