



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI PENURUNAN KANDUNGAN BOD,COD,
DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR
PEWARNAAN BATIK MENGGUNAKAN *Scirpus
grossus* DAN *Iris pseudacorus* DENGAN
SISTEM PEMAPARAN *INTERMITTENT***

DWI AGUSTIANG NINGSIH
3313100019

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI PENURUNAN KANDUNGAN BOD,COD,
DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR
PEWARNAAN BATIK MENGGUNAKAN *Scirpus
grossus* DAN *Iris pseudacorus* DENGAN
SISTEM PEMAPARAN *INTERMITTENT***

DWI AGUSTIANG NINGSIH
3313100019

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

**THE DEGRADATION OF BOD, COD, AND
COLOR TEST IN BATIK COLOURING
WASTEWATER USING *Scirpus grossus* AND
Iris pseudacorus WITH INTERMITTENT
EXPOSURE SYSTEM**

DWI AGUSTIANG NINGSIH
3313100019

Supervisor

Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

UJI PENURUNAN KANDUNGAN BOD,COD, DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR PEWARNAAN BATIK MENGGUNAKAN *Scirpus grossus* DAN *Iris pseudacorus* DENGAN SISTEM PEMAPARAN INTERMITTENT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DWI AGUSTIANG NINGSIH

NRP 3313 100 019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

19710818 199703 2 001

SURABAYA
JANUARI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**UJI PENURUNAN KANDUNGAN BOD,COD, DAN WARNA
PADA LIMBAH CAIR PEWARNAAN BATIK MENGGUNAKAN
Scirpus grossus DAN *Iris pseudacorus* DENGAN SISTEM
PEMAPARAN *INTERMITTENT***

Nama Mahasiswa : Dwi Agustiang Ningsih
NRP : 3313100019
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

ABSTRAK

Limbah cair industri batik sebagian besar berasal dari proses pewarnaan batik. Salah satu sentra industri batik terletak di Jetis, Sidoarjo yang berdiri sejak tahun 1675. Produksi limbah cair pewarnaan dari industri batik di wilayah Jetis ini langsung dibuang ke Sungai Jetis atau drainase di sekitar rumah warga. Salah satu sistem pengolahan limbah yang efektif, efisien, dan tidak membutuhkan biaya yang mahal adalah menggunakan sistem *phytotreatment*.

Tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*. Kedua tumbuhan ini dapat hidup di lingkungan tercemar dan cocok dimanfaatkan untuk pengolahan limbah. Selain itu, kedua jenis tumbuhan ini merupakan jenis tumbuhan semi *aquatic* yang bisa hidup di lahan basah ataupun kering. Usaha dalam meningkatkan kinerja proses *phytotreatment* dalam mengolah air limbah batik dapat dilakukan dengan sistem pemaparan *intermittent*. Sistem pemaparan secara *intermittent* ini menghubungkan tumbuhan dengan limbah secara berkala melalui siklus *flood and drain* (F/D). Pemaparan ini dapat menambah kondisi redoks sehingga dapat menambah efisiensi penyisihan.

Variabel yang digunakan berupa variasi jenis tumbuhan yaitu *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* (*single plant* atau *mixed plant*) serta variasi sistem pemaparan secara *intermittent* yaitu F/D 2:1 dan F/D 1:2. Parameter utama yang digunakan adalah penurunan kandungan BOD, COD, dan warna. Adapun

parameter pendukung seperti morfologi tumbuhan, berat basah, berat kering tumbuhan, pH dan suhu.

Penelitian pendahuluan yang dilakukan berupa aklimatisasi tumbuhan dan *range finding test* untuk menentukan konsentrasi air limbah pewarnaan yang akan digunakan dalam penelitian. Uji *phytotreatment* dilakukan selama 18 hari dengan pemaparan *intermittent*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan terbesar dalam menyisihkan removal adalah reaktor *mixed plant* dengan sistem pemaparan *intermittent* F/D 2:1 mampu menyisihkan COD sebesar 89%, BOD sebesar 97% dan warna sebesar 99%. Berdasarkan hasil uji statistik, masing-masing variabel pada penelitian tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal BOD dan COD yang ditunjukkan dengan nilai P-value > 0,05, namun variabel sistem pemaparan berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal warna yang ditunjukkan dengan nilai P-value < 5%

Kata kunci : BOD, COD, *Phytotreatment*, *Intermittent*, *Iris pseudacorus*, Limbah Cair Pewarnaan Industri Batik, *Scirpus grossus*, Warna

THE DEGRADATION OF BOD, COD, AND COLOUR TEST IN BATIK COLOURING WASTEWATER USING *Scirpus grossus* AND *Iris pseudacorus* WITH INTERMITTENT EXPOSURE SYSTEM

Name : Dwi Agustiang Ningsih
Register Number : 3313100019
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

ABSTRACT

Mostly, batik industrial wastewater is produced from batik coloring process. One of this batik industry is located in Jetis, Sidoarjo since 1675. The wastewater produced from the coloring process in this location is directly dumped to Jetis River or drainage system around the area. One of the effective, efficient, and not costly wastewater treatment is by using phytotreatment process.

Plants used in this research were *Scirpus grossus* and *Iris pseudacorus*. Both of this plants can grow in polluted environment and suitable to be used in wastewater treatment process. Moreover, both of those plants are semi aquatic plant that can grow in both wet and dry condition. Intermittent exposure system can be applied to increase the efficiency of the phytotreatment process for batik industry wastewater. This system connects plant and wastewater periodically through flood and drain cycle (F/D). This exposure can increase redox condition, so it can increase removal efficiency.

The study variables used in this research are species variation of plants *Scirpus grossus* and *Iris pseudacorus* (single plant or mixed plant) and intermittent exposure system variation, which is F/D 2:1 and F/D 1:2. The Primary parameter of this research is the concentration reduction of BOD, COD, and color. And the secondary parameter such as plant morphology, wet weight, and dry weight, pH, and temperature.

Preliminary research were plant acclimatization and range finding test to determine the wastewater concentration. Phytotreatment test is conducted for 18 days in intermittent phase.

The result shows that the best variable to remove pollutant is mixed plant reactor with intermittent exposure of F/D 2:1 is able to remove 89% of COD, 97% of BOD, and 99% of colour. Based on the statistic test, each variables of this experiment didn't give any significant influences to the BOD and COD removal efficiency, it was known because the P-value >5%. But intermittent exposure variabels give significant influences to the colour removal efficiency, it was known because the P-value <5%.

Keywords: Batik coloring wastewater, Color, BOD, COD, Phytotreatment, Intermittent, *Iris pseudacorus*, *Scirpus grossus*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Uji Penurunan Kandungan BOD,COD, dan Warna pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan *Scirpus Grossus* dan *Iris Pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan *Intermittent*”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Ibu Bieby Voiyant Tangahu, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs., Ibu Dr. Ir. Ellina S Pandebesie, MT. dan Bapak Ir. Bowo Djoko M., M.Eng selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya
3. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya
4. Ibu Hurun In, Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium
5. Tesya Paramita Putri, Nalurika Muji Rahayu, Indira Wido Primadipta dan Rima Nur Malasari yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. Teman-teman angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Industri Batik.....	7
2.2 Proses Produksi Batik	7
2.3 Karakteristik Limbah Industri Batik	9
2.1 Parameter Uji Limbah Cair Pewarnaan Batik.....	11
2.2 Dampak Limbah Batik	14
2.6 Pengolahan Limbah Secara <i>Phytotreatment</i>	15
2.7 Penelitian Terdahulu.....	17
2.8 Pola Pemaparan secara <i>Intermittent</i>	19
2.9 Pengaruh Media	21
2.10 Mekanisme Degradasi oleh Mikroorganisme	22
2.11 Karakteristik <i>Scirpus grossus</i>	23
2.12 Karakteristik <i>Iris pseudacorus</i>	24
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Deskripsi Umum	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Kerangka Penelitian	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Uji Karakteristik Limbah.....	43
4.2 Tahap Propagasi Tumbuhan	44
4.3 Tahap Aklimatisasi	51
4.4 <i>Range Finding Test</i> (RFT).....	51

4.5 Uji <i>Phytotreatment</i> Limbah Cair Batik.....	56
4.5.1 Analisa Parameter COD.....	63
4.5.2 Analisa Parameter BOD.....	68
4.5.3 Analisa Rasio BOD/COD.....	73
4.5.4 Analisa Warna.....	76
4.5.5 Analisa Suhu dan pH.....	80
4.5.6 Analisa Morfologi Tumbuhan.....	84
4.5.7 Uji Statistik.....	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	103
LAMPIRAN.....	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Proses Pembuatan Batik	8
Gambar 2. 2 Proses Pembuatan Batik.....	9
Gambar 2. 3 Mekanisme Proses <i>Phytotreatment</i>	16
Gambar 2. 4 Pola Pemaparan <i>Intermittent</i>	20
Gambar 2. 5 Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	24
Gambar 2. 6 Tumbuhan <i>Iris pseudacorus</i>	25
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	29
Gambar 3. 2 Perlakuan reaktor	33
Gambar 3.3 Reaktor Penelitian (a) Reaktor <i>Single Plant</i> (<i>Scirpus grossus</i>), (b) Reaktor <i>Single Plant</i> (<i>Iris</i> <i>pseudacorus</i>), (c) Reaktor <i>Mixeded Plant</i> (<i>Scirpus grossus</i> dan <i>Iris pseudacorus</i>)	35
Gambar 4. 1 Bentuk Batang <i>Scirpus grossus</i>	44
Gambar 4. 2 Pengamatan Karakteristik Fisik <i>Scirpus grossus</i> ...	45
Gambar 4. 3 Tunas baru <i>Scirpus grossus</i>	45
Gambar 4. 4 Fase Generatif pada <i>Scirpus grossus</i> ditandai dengan Keluarnya Bunga	46
Gambar 4. 5 Pertumbuhan Tinggi <i>Scirpus grossus</i>	46
Gambar 4. 6 Pertumbuhan Lebar Sisi Batang <i>Scirpus grossus</i> ..	47
Gambar 4. 7 Pertumbuhan Jumlah Daun <i>Scirpus grossus</i>	47
Gambar 4. 8 Pengamatan Karakteristik Fisik <i>Iris pseudacorus</i> ..	48
Gambar 4. 9 Tunas Baru <i>Iris pseudacorus</i>	48
Gambar 4. 10 Fase generatif pada <i>Iris pseudacorus</i> ditandai dengan keluarnya bunga	49
Gambar 4. 11 Pertumbuhan Panjang <i>Iris pseudacorus</i>	49
Gambar 4. 12 Pertumbuhan Lebar Daun <i>Iris pseudacorus</i>	50
Gambar 4. 13 Pertumbuhan Jumlah Daun <i>Iris pseudacorus</i>	50
Gambar 4. 14 Tahap aklimatisasi tumbuhan.....	51
Gambar 4. 15 Efek Kematian Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	55
Gambar 4. 16 Efek Kematian Tumbuhan <i>Iris pseudacorus</i>	56
Gambar 4. 17 Kondisi reaktor.....	63
Gambar 4. 18 Removal COD limbah pewarnaan pada F/D 1:2 ..	65
Gambar 4. 19 Removal COD limbah pewarnaan pada F/D 2:1 ..	65
Gambar 4. 20 Removal BOD limbah pewarnaan pada F/D 1:2 ..	70

Gambar 4. 21 Removal BOD limbah pewarnaan pada F/D 2:1 ..	70
Gambar 4. 22 Rasio BOD/COD Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2.....	74
Gambar 4. 23 Rasio BOD/COD Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1	74
Gambar 4. 24 Removal Warna pada Reaktor F/D 1:2	77
Gambar 4. 25 Removal Warna pada Reaktor F/D 2:1	78
Gambar 4. 26 Suhu Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2	80
Gambar 4. 27 Suhu Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1	81
Gambar 4. 28 pH Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2	82
Gambar 4. 29 pH Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1	82
Gambar 4. 30 Tinggi Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	85
Gambar 4. 31 Lebar Sisi Batang <i>Scirpus grossus</i>	85
Gambar 4. 32 Jumlah Daun <i>Scirpus grossus</i>	86
Gambar 4. 33 Panjang Tumbuhan <i>Iris pseudacorus</i>	87
Gambar 4. 34 Lebar Daun <i>Iris pseudacorus</i>	88
Gambar 4. 35 Jumlah Daun <i>Iris pseudacorus</i>	89
Gambar 4. 36 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor A1.....	91
Gambar 4. 37 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor A2.....	91
Gambar 4. 38 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor A3.....	92
Gambar 4. 39 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor A3.....	92
Gambar 4. 40 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor B1.....	93
Gambar 4. 41 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor B2.....	93
Gambar 4. 42 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor B3.....	94
Gambar 4. 43 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor B3.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Analisis Air Limbah Industri Batik Jetis, Sidoarjo.....	11
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil.....	11
Tabel 2. 3 Macam-Macam Penelitian Terdahulu.....	17
Tabel 3. 1 Matriks Variabel Penelitian.....	32
Tabel 3. 2 Jumlah dan Kondisi Reaktor Uji.....	32
Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Pewarna Batik Jetis.....	43
Tabel 4. 2 Pengamatan fisik <i>Scirpus grossus</i>	53
Tabel 4. 3 Pengamatan Fisik <i>Iris pseudacorus</i>	54
Tabel 4. 4 Hasil <i>Range Finding Test Scirpus grossus</i>	54
Tabel 4. 5 Hasil <i>Range Finding Test Iris pseudacorus</i>	55
Tabel 4. 6 Removal COD setiap Reaktor.....	63
Tabel 4. 7 Removal BOD setiap Reaktor.....	69
Tabel 4. 8 Removal Warna setiap Reaktor.....	76
Tabel 4. 9 Hasil Uji Anova Parameter COD.....	98
Tabel 4. 10 Hasil Uji Anova Parameter BOD.....	98
Tabel 4. 11 Hasil Uji Anova Parameter Warna.....	99

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM.....	115
LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISA.....	123
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN.....	145

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi batik menjadi salah satu produksi yang potensial untuk dikembangkan. Data Kementerian Perindustrian menunjukkan kenaikan jumlah industri batik sejak 2011 hingga 2015 mencapai 14,7%. Dalam proses produksinya, industri ini menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang dipergunakan dalam proses pembatikan (Watini, 2009). Semakin meningkatnya jumlah industri batik, maka limbah cair yang dihasilkan akan semakin besar (Chan, 2012). Namun, kenaikan jumlah industri batik ini tidak disertai dengan sistem pengolahan limbah yang baik. Seperti halnya pada salah satu sentra industri batik di wilayah Jetis, Sidoarjo yang berdiri sejak tahun 1675. Berdasarkan Satrya (2015), produksi limbah dari industri batik di wilayah Jetis ini langsung dibuang ke Sungai Jetis atau drainase di sekitar rumah warga.

Menurut Suprihatin (2014), Industri batik merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan atau pencelupan. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses pewarnaan antara lain zat warna asam, zat warna basa, zat warna direk, zat warna reaktif, zat warna naftol dan zat warna bejana (Kurniawan dkk., 2013). Setelah proses pewarnaan selesai, akan dihasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Biasanya warna air limbah tergantung pada zat warna yang digunakan. Penggunaan bahan kimia tersebut menyebabkan limbah batik memiliki kandungan warna, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), yang tinggi (Rashidi *et al.*, 2012).

Proses pewarnaan pada limbah batik di wilayah Jetis, Sidoarjo menghasilkan limbah cair dengan kandungan BOD mencapai 261,25 mg/L, kandungan COD mencapai 1066 mg/L, dan kandungan warna mencapai 3050 Pt-Co. Kandungan BOD, COD, dan warna ini melebihi baku mutu kualitas air limbah tekstil. Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 menetapkan kandungan maksimum BOD dan COD sebesar 60 mg/L dan 150 mg/L (Biro Hukum Sekretariat Daerah Provinsi Jawa Timur, 2013). Adapun kandungan warna diatur dalam

KepMen LH No 51 MENLH No 1995 yang menyatakan baku mutu warna sebesar 50 Pt-Co.

Kandungan BOD, COD dan warna yang tinggi di dalam perairan dapat membunuh organisme dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Peningkatan kandungan BOD, COD, dan warna ini berperan dalam menurunkan indeks kualitas air (Mohan *et al.*, 2005). Dampak yang dirasakan oleh masyarakat setempat yaitu terkait dengan kesehatan. Penggunaan bahan kimia yang berlebihan dapat menyebabkan risiko terkena kanker kulit (Satrya, 2015).

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi dampak negatif pencemaran limbah cair industri batik adalah dengan melakukan pengolahan terlebih dahulu. *Phytotreatment* merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah yang efektif, mudah diterapkan dan ekonomis (Tee *et al.*, 2009). Konsep *phytotreatment* memusatkan pada tumbuhan sebagai teknologi lingkungan hidup yang mampu menyelesaikan masalah lingkungan secara alami (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Cara kerja *phytotreatment* dengan memanfaatkan kemampuan tumbuhan untuk menyerap dan mendegradasi polutan baik dari media udara, air, dan tanah (Moreno *et al.*, 2008). Tumbuhan banyak digunakan untuk mengolah air buangan karena mampu mengolah air buangan dengan tingkat efisiensi yang tinggi (Mukti, 2008). Kelebihan *phytotreatment* selain dapat menurunkan polutan organik juga dapat menyerap warna (Kurniawan dkk., 2013).

Pengolahan limbah batik dengan *phytotreatment* sudah dilakukan. Seperti pada penelitian Hernayati dan Proklamasiningsih (2004), menggunakan tumbuhan *Pistia stratiotes* dengan penurunan kandungan BOD 64,26% dan COD 69,8%. Pada penelitian Wahyu dkk. (2015), menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan penurunan kandungan BOD 87,19% dan COD 79,96%. Pada penelitian Octarina (2015), menggunakan *Scirpus grossus* dengan penurunan kandungan BOD, COD mencapai 90%. Pada penelitian Prawira (2015), menggunakan *Iris pseudacorus* dengan penurunan BOD 86.2 % dan COD 87.8 %. Adapun untuk menurunkan warna, terdapat tumbuhan rawa berdaun sempit

menunjukkan bahwa dekolonisasi limbah zat warna reaktif oleh tumbuhan ini sebesar 60% (Nilratnisakorn *et al.*, 2010).

Jenis tumbuhan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*. Menurut Stottmeister *et al.* (2003), *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dapat hidup di lingkungan tercemar dan cocok dimanfaatkan untuk pengolahan limbah. *Scirpus grossus* mampu mengangkut dan mentranslokasikan berbagai kontaminan di sekitarnya melalui penyerapan oleh akar (Tangahu *et al.*, 2011). *Iris pseudacorus* memiliki sistem perakaran yang banyak dan cukup kuat untuk menyerap zat organik (Prawira, 2015). Kedua jenis tumbuhan ini merupakan jenis tumbuhan semi *aquatic* yang bisa hidup di lahan basah ataupun kering (Stottmeister *et al.*, 2003; April dan Mangkoedihardjo, 2010).

Usaha dalam meningkatkan kinerja proses *phytotreatment* dalam mengolah air limbah batik dapat dilakukan dengan sistem pemaparan secara *intermittent*. Menurut Jia *et al.* (2010), sistem pemaparan secara *intermittent* mampu meningkatkan *Dissolved Oxygen* (DO) dalam media secara signifikan. Sistem pemaparan secara *intermittent* ini menghubungkan tumbuhan dengan larutan segar (limbah) secara berkala. Keadaan ini menyebabkan tumbuhan dapat menyerap dengan optimal sampai kondisi jenuhnya, sehingga akan terjadi peningkatan efisiensi penyisihan. Peningkatan efisiensi penyisihan oleh tumbuhan, akan membantu peningkatan kandungan DO yang dibutuhkan oleh kehidupan mikroorganisme. Proses aerasi alami akan terjadi pada sistem pemaparan secara *intermittent* dengan siklus *flood and drain*. Aerasi pada media dapat menambah kondisi redoks sehingga dapat menambah efisiensi penyisihan (Chazarenc *et al.*, 2009). Aerasi juga merupakan solusi terhadap *clogging* pada media yang biasanya terjadi bila reaktor telah cukup lama beroperasi (Li *et al.*, 2008). Berdasarkan penelitian Jia *et al.* (2010), sistem pemaparan secara *intermittent* memiliki kemampuan menyisihkan BOD dan COD lebih besar dari pada sistem pemaparan secara kontinyu.

Selain dalam meningkatkan kinerja *phytotreatment*, sistem pemaparan *intermittent* ini dapat menggambarkan proses produksi batik yang terjadi di wilayah Jetis, Sidoarjo. Proses yang terjadi pada pengolahan batik ini yaitu tidak setiap harinya

menghasilkan limbah, karena hanya pada hari tertentu dilakukan proses yang menghasilkan limbah cair.

Berdasarkan hal tersebut, pengolahan limbah cair pewarnaan batik menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* secara *single plant* ataupun *mixed plant* dengan sistem pemaparan secara *intermittent* perlu diteliti. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi penyisihan BOD, COD, dan warna yang dipengaruhi oleh variasi jenis tumbuhan melalui pemaparan secara *intermittent*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, diketahui bahwa *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* memiliki kemampuan sebagai agen pereduksi zat pencemar dalam air limbah. Namun, belum adanya pemanfaatan kedua tumbuhan untuk pengolahan limbah cair pewarnaan batik, terutama dalam hal menurunkan kandungan BOD, COD, dan warna. Adapun pengaruh kombinasi penggunaan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* secara *single plant* (*Scirpus grossus* atau *Iris pseudacorus*) dan *mixed plant* (*Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*) dan pengaruh sistem pemaparan secara *intermittent* belum diketahui.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan kemampuan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* secara *single plant* atau *mixed plant* dalam mereduksi kandungan BOD, COD, dan warna limbah cair pewarnaan batik melalui pemaparan secara *intermittent*.
2. Menentukan pengaruh penerapan siklus *flood and drain* pada sistem pemaparan *intermittent* dalam mereduksi kandungan BOD, COD, dan warna limbah cair pewarnaan batik menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* secara *single plant* atau *mixed plant*.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah batik diambil dari Toko Batik Amri Jaya di Jetis, Sidoarjo.

2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Teknik Lingkungan ITS.
3. Penelitian dilaksanakan pada bulan September – November 2016.
4. Penelitian pendahuluan berupa tahap perbanyakan, aklimatisasi tumbuhan, dan Uji *Range Finding Test* (RFT).
5. Variabel yang digunakan berupa variasi jenis tumbuhan yaitu *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dalam kondisi *single plant* dan *mixed plant*, serta variasi sistem pemaparan *intermittent* dengan perbandingan siklus *flood and drain* yaitu F/D 1:2, dan F/D 2:1.
6. Parameter utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah BOD, COD, dan warna. Parameter pendukung yang digunakan adalah morfologi tumbuhan, berat basah, berat kering, suhu, dan pH.
7. Media tumbuhan yang digunakan berupa kerikil berukuran 5-9 mm.
8. Penelitian utama berupa uji *phytotreatment* menggunakan reaktor *box* plastik berukuran 38 cm X 28 cm X 25 cm. Reaktor dilengkapi dengan lubang *outlet* di bagian bawah yang dapat dibuka dan ditutup untuk mengalirkan *effluent*.
9. Reaktor kontrol tumbuhan digunakan air PDAM dengan media dan tumbuhan, serta reaktor kontrol limbah dengan media tanpa tumbuhan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan rekomendasi alternatif pengolahan limbah produksi batik menggunakan proses *phytotreatment*.
2. Memberikan pengetahuan mengenai metode pengolahan *phytotreatment* melalui pemaparan secara *intermittent* dengan pemanfaatan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*.
3. Menjadi referensi dasar untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Batik

Batik adalah salah satu kerajinan budaya Indonesia yang memiliki nilai seni tinggi dan menjadi bagian dari budaya Indonesia khususnya Jawa (Yusak dan Adi, 2011). Produksi batik merupakan teknik pembuatan motif atau pola dengan cara perintangang menggunakan lilin atau malam batik (Suheryanto, 2012).

Industri batik merupakan industri yang sangat potensial untuk dikembangkan. Berawal dari metode sederhana, yaitu menggambar dengan canting dan mencelupkan dalam pewarna, batik cap dengan cara dicap pada cetakan sampai produksi masal dengan mesin modern. Salah satu sentra industri batik terletak di Kampung Jetis, Sidoarjo. Sentra batik ini terkenal memproduksi batik tulis dengan motif yang khas dari Sidoarjo sejak tahun 1675 (Satrya, 2015).

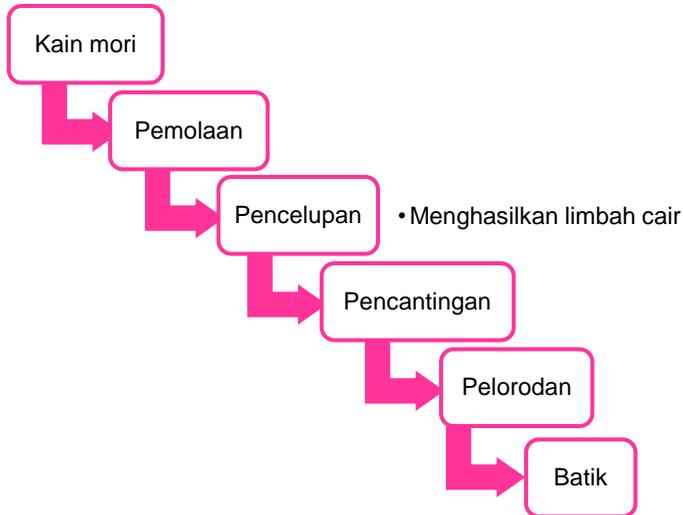
Potensi Industri batik ini secara ekonomi cukup memberikan pendapatan yang besar kepada negara, baik dari segi penyerapan tenaga kerja maupun pemasukan devisa dan pajak. Permintaan pasar untuk konsumsi lokal dan luar negeri terbuka luas sehingga memberikan peluang yang besar untuk perkembangan industri ini.

2.2 Proses Produksi Batik

Teknik pembuatan batik meliputi tiga pekerjaan utama, yaitu pelekatan lilin pada media atau kain, pewarnaan, dan pelorodan (Suheryanto, 2015). Skema proses pembuatan batik berdasarkan Suprihatin (2014) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Langkah-langkah dalam pembuatan batik adalah:

a) Pemolaan

Proses yang dilakukan berupa penempelan malam sebagai bahan utama perintang batik ke mori. Mori yang telah dibuat polanya kemudian dimalam dengan canting tulis maupun canting cap. Pada umumnya pelekatan lilin ini menggunakan alat yang disebut dengan canting. Adapula cara pembatikan lainnya adalah dengan menggunakan cap yang telah terbentuk pola.



Gambar 2. 1 Skema Proses Pembuatan Batik

Sumber: Suprihatin (2014)

b) Pewarnaan atau pencelupan

Motif batik yang telah dicap ataupun ditulis dengan lilin malam merupakan gambaran atau motif dari batik yang akan dibuat. Proses selanjutnya pemberian warna sehingga pada tempat yang terbuka menjadi berwarna, sedangkan tempat yang ditutup lilin tidak terkena warna yang diwarnai. Proses pewarnaan ini dilakukan dengan cara pencelupan air pewarna yang diberi warna.

c) Pelorodan atau penghilangan lilin

Pelorodan adalah proses penghilangan lilin malam yang menempel pada kain mori. Menghilangkan lilin malam pada batik dapat bersifat menghilangkan sebagian atau menghilangkan keseluruhan lilin malam. Menghilangkan sebagian atau setempat adalah melepas lilin malam pada tempat-tempat tertentu dengan cara mengerok dengan alat sejenis pisau. Pelorodan yang dilakukan diakhir disebut mbabar atau ngebyok. Pelepasan lilin dilakukan dengan air panas. Lilin akan meleleh dalam air panas sehingga terlepas

dari kain. Proses pelorodan bisa dikatakan berhasil apabila semua lilin dapat larut serta tidak mempengaruhi warna dan kekuatan kain (Susanto, 1980). Proses pembuatan batik dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Proses Pembuatan Batik

Sumber: Dokumentasi hasil survei (Toko Amry Jaya Jetis, Sidoarjo)

2.3 Karakteristik Limbah Industri Batik

Proses produksi batik dari persiapan hingga penyempurnaan diindikasikan menggunakan bahan kimia yang mengandung unsur logam berat. Hal ini menyebabkan bahan buangan yang dihasilkan dari proses produksi juga masih mengandung unsur logam berat (Sasongko, 2006). Air limbah batik pada umumnya bersifat basa dan memiliki kadar organik yang tinggi akibat sisa proses pematikan. Proses pencelupan yang dilakukan merupakan penyumbang zat warna yang kuat apabila tidak diberikannya pengolahan yang tepat. Zat warna yang terkandung dalam air limbah batik umumnya sukar untuk terdegradasi dengan baik. Zat warna ini umumnya didesain untuk memiliki tingkatan kimia yang tinggi untuk menahan kerusakan akibat oksidatif yang berasal dari cahaya matahari (Manurung, 2004). Karakteristik air limbah ini dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu:

a) Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang ditunjukkan kedalam skala. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan temperatur sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi (Wardhana, 2001).

b) Karakteristik kimia

Karakteristik Kimia, meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan DO. COD merupakan banyaknya oksigen dalam mg/L yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan sebuah ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk ikan. DO optimum untuk ikan adalah 5-6 mg/L, sedangkan kadar DO minimum paling tidak adalah 3 mg/L. pH merupakan cara untuk menunjukkan derajat keasaman dalam perairan. Ikan dapat hidup pada kisaran pH 5-9. Ikan akan mati apabila pH dalam air dibawah dari 4 ataupun diatas dari 11.

c) Karakteristik Biologis

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 10⁵-10⁸ organisme/mL. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air (Purwaningsih, 2008).

Industri batik menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik yang besar, warna yang pekat, berbau menyengat dan memiliki suhu yang tinggi. Nilai keasaman (pH), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) yang dihasilkan juga tinggi (Kurniawan dkk., 2013). Data analisis karakteristik air limbah pewarnaan batik Sidoarjo berdasarkan penelitian Octarina (2015) dapat dilihat pada pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Data Analisis Air Limbah Industri Batik Jetis, Sidoarjo

No	Parameter	Hasil Analisa	Satuan
1.	pH	8,77	-
2.	BOD ₅	261,25	mg/L
3.	COD	1066	mg/L O ₂
4.	Warna	3050	Pt-Co

Sumber: Octarina (2015)

Dari data hasil penelitian di atas, menunjukkan bahwa kandungan limbah industri batik tersebut melebihi baku mutu air limbah tekstil. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 mengenai baku mutu air limbah industri tekstil dan KepMen LH No 51 MENLH No 1995 mengenai kegiatan usaha lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil

No	Parameter	Baku Mutu	Satuan
1.	pH	6-9	-
2.	BOD ₅	60	mg/L
3.	COD	150	mg/L O ₂
4.	*Warna	50	Pt-Co

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013

* KepMen LH No 51 MENLH No 1995

2.1 Parameter Uji Limbah Cair Pewarnaan Batik

a. Parameter BOD

Di dalam lingkungan bahan organik banyak terdapat dalam bentuk karbohidrat, protein, dan lemak yang

membentuk organisme hidup dan senyawa-senyawa lainnya yang merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia. Secara normal, bahan organik tersusun oleh unsur-unsur C, H, O, dan dalam beberapa hal mengandung N, S, P, dan Fe (Achmad, 2004).

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). Berdasarkan Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). BOD merupakan parameter yang umum dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan untuk mendesain sistem pengolahan secara biologis (Alerts dan Santika, 1987). Mikroorganisme dapat mengoksidasi senyawa yang mengandung karbon dan senyawa-senyawa nitrogen. Bakteri yang mengoksidasi nitrogen bersifat autotrof, dan secara normal tidak banyak terdapat di dalam limbah rumah tangga yang segar. Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air, dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerob.

Limbah dengan BOD tinggi tidak dapat mendukung kehidupan organisme yang membutuhkan oksigen. Uji BOD mencoba untuk menentukan kadar pencemaran dari suatu limbah. Secara umum dapat dikatakan kebutuhan mikroba terhadap oksigen dan merupakan ukuran tak langsung dari bahan organik yang ada dalam limbah.

b. Parameter COD

Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable* yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama perairan (Suprihatin, 2014).

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah diurai maupun yang kompleks dan sulit diurai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan.

Secara teoritis, COD atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Angka COD merupakan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air (Hariyadi, 2004).

Nilai COD umumnya lebih besar dari BOD karena COD merupakan total dari bahan organik yang terkandung pada limbah, sedangkan BOD hanya merupakan bahan organik yang mudah didegradasi (Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991).

c. Parameter Warna

Industri batik dan tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah industri batik dan tekstil juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. air yang berwarna-warni ini yang menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non- biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan.

Menurut Al-kdasi *et al* (2004), struktur kimianya zat warna dibagi menjadi bermacam-macam, antara lain: zat warna *nitroso*, *nitro*, *azo*, *stilben*, *difenil metana*, *trifenil metana*, *akridin*, *kinolin*, *indigoida*, *aminokinon*, *anin* dan *indofenol*. Namun, secara garis besar zat warna digolongkan menjadi dua golongan yaitu zat warna alami dan zat warna sintetik.

Salah satu contoh warna yang banyak dipakai industri tekstil khususnya batik adalah *remazol black*, *red* dan *golden yellow*. Dalam perwarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan COD (Suprihatin, 2014).

2.2 Dampak Limbah Batik

Industri batik termasuk dalam industri tekstil yang paling banyak menggunakan air dalam proses produksinya. Limbah cair yang dihasilkan mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang dipergunakan dalam produksi. Kegiatan industri batik menghasilkan limbah cair yang berasal dari obat pemutih dan obat pewarna batik yang dapat menyebabkan pencemaran. Hal ini disebabkan karena limbah hasil produksi tersebut langsung dibuang ke sungai ataupun saluran drainase sekitar. Adapun limbah yang dihasilkan oleh industri batik di wilayah Jetis, Sidoarjo tidak dilakukan pengolahan, tetapi langsung dibuang ke Sungai Jetis Sidoarjo (Suprihatin, 2014). Limbah cair ini akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan menyebabkan penurunan kualitas air (Watini, 2009).

Kandungan limbah batik yang terdiri dari pH, BOD, TSS, dan COD yang tinggi akan membahayakan lingkungan. Keadaan ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan organisme akuatik (Susanti dan Henny, 2008). Suhu yang tinggi mengakibatkan kandungan oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air menurun dan membunuh organisme. Keadaan ini akan mengganggu keseimbangan ekosistem air. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya kerja

enzim dalam proses fisiologis (Palar, 2008). Kandungan limbah organik akan meningkatkan kandungan nitrogen menjadi senyawa nitrat yang menyebabkan bau busuk pada perairan.

Beberapa jenis zat warna yang berasal dari proses pencucian kain batik juga mengandung logam berat. Efek negatif lain dari pewarna kimiawi dalam proses pewarnaan yang dirasakan oleh pengrajin batik adalah risiko terkena kanker kulit (Sastrya, 2015). Selain itu dampak yang dapat ditimbulkan akibat zat warna ini seperti iritasi kulit, mata, hingga dapat menyebabkan terjadinya mutasi (Mathur *et al.*, 2005). Logam berat juga menyebabkan ulkus pada hidung dan kulit, hiperpigmentasi pada kulit, dan mengindikasikan nekrosis tubulus ginjal (Purwaningsih, 2008).

2.6 Pengolahan Limbah Secara *Phytotreatment*

Phytotreatment merupakan penggunaan tumbuhan untuk membersihkan kontaminan yang terkandung di dalam air ataupun tanah (Valderrama *et al.*, 2013). Proses *phytotreatment* memanfaatkan tumbuhan untuk menyerap kontaminan melalui akar, melakukan proses translokasi, bioakumulasi, dan proses degradasi kontaminan dalam tubuh tumbuhan (Gaur dan Adholeya, 2004). Mekanisme proses *phytotreatment* dapat dilihat pada Gambar 2.3

Berdasarkan Erakhrumen dan Agbontalor (2007), Proses *phytotreatment* menggunakan sistem berikut:

- *Phytostabilization*

Phytostabilization adalah proses imobilisasi, dan mengikat kontaminan di dalam tanah (Chhotu *et al.*, 2009). Kontaminan terbawa aliran tanah menuju zona akar. Proses naiknya kontaminan ke zona akar menghasilkan kontaminan terakumulasi (hiperakumulasi) di dalam zona akar.

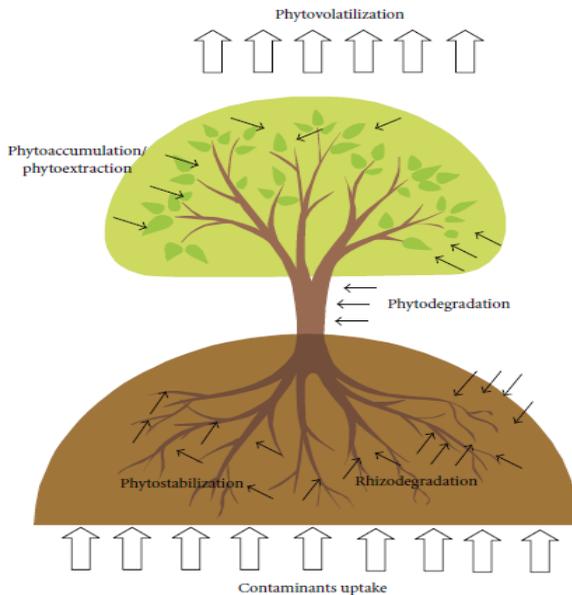
- *Rhizofiltration*

Rhizofiltration adalah proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar dan penyerapan kontaminan ke dalam akar. Kontaminan yang bersifat mudah mengendap akan tertahan pada zona akar. Proses adsorpsi terjadi berdasarkan ikatan ionik, karena proses ini terjadi pada kontaminan yang mempunyai perbedaan muatan ion dengan

ion akar. Proses sedimentasi terjadi karena koagulasi kontaminan dan kondisi pH air tanah (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

- *Rhizodegradation*

Rhizodegradation merupakan pemecahan kontaminan dalam tanah karena adanya aktivitas mikroba di zona akar. Proses ini menggunakan mikroorganismenya untuk mengonsumsi dan mencerna zat organik sebagai nutrisi makanan dan energi. Kontaminan yang mengalami degradasi ini adalah kontaminan yang bersifat *biodegradable* (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).



Gambar 2. 3 Mekanisme Proses *Phytotreatment*

Sumber: Tangahu *et al.* (2011)

- *Phytoextraction*

Phytoextraction adalah proses penyerapan kontaminan dari akar dan terdistribusi ke dalam berbagai organ tumbuhan (Sheoran *et al.*, 2009). Kontaminan yang terserap ke dalam tumbuhan pada umumnya adalah

kontaminan terlarut air. Beberapa zat lain yang sulit terlarut air dapat terserap oleh tumbuhan karena adanya eksudat tumbuhan. Eksudat ini berfungsi sebagai pelarut organik dan ikut menentukan pelarutan kontaminan.

- *Phytodegradation*
Phytodegradation adalah proses penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tumbuhan (Garbisu dan Alkorta, 2001). Proses *phytodegradation* juga merupakan penguraian kontaminan di luar tumbuhan melalui proses enzimatik yang dihasilkan oleh tumbuhan.
- *Phytovolatilization*.
Phytovolatilization adalah kemampuan tumbuhan untuk menyerap dan menguapkan kontaminan ke udara. Menurut Karami dan Shamsuddin (2010), kontaminan yang terserap dapat berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara. Hal ini terjadi karena adanya *phytodegradation* yang menyebabkan pemecahan kontaminan melalui proses metabolisme di dalam tumbuhan.

2.7 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi landasan dalam penelitian ini. Macam-macam penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Macam-Macam Penelitian Terdahulu

	Sumber	Jenis limbah	Parameter	Hasil
Judul	<i>Effect of intermittent operation on contaminant removal and plant growth in vertical flow constructed wetlands: A microcosm experiment</i>			
	Jia <i>et al.</i> , (2010)	Limbah sintetik	COD dan TN	Efisiensi removal TN = 67.34% Efisiensi removal COD = 96.88%
Judul	Efek kompos tidak stabil dan sistem pengoperasian secara <i>intermittent</i> dan kontinyu terhadap efisiensi penyisihan surfaktan pada bed evapotranspirasi			

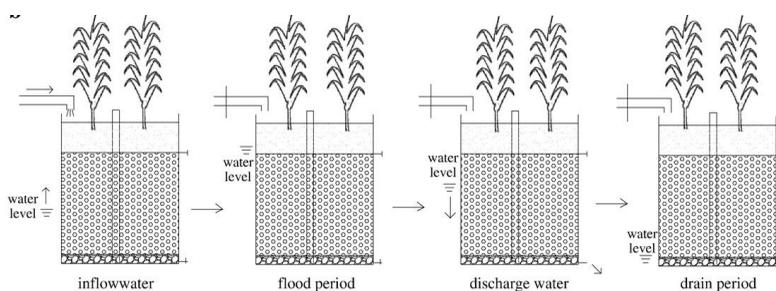
	Sumber	Jenis limbah	Parameter	Hasil
	April dan Mangkoedih ardjo, (2010)	Limbah cair laundry	Surfaktan	<i>Iris Pseudacorus</i> : Efisiensi penyisihan surfaktan secara <i>intermitent</i> menghasilkan peran tumbuhan yang lebih baik daripada pengoperasian secara kontinyu.
Judul	<i>Effectiveness of Scirpus grossus in treatment of domestic wastes in a constructed wetland</i>			
	Jinadasa et al., (2006)	Limbah cair domestik	<i>Suspended solid</i> dan BOD	<i>Scirpus grossus</i> <ul style="list-style-type: none"> • Penurunan <i>Suspended Solid</i> 61% • Penurunan BOD 69%
Judul	<i>Phytoremediation of wastewater containing lead (Pb) in pilot reed bed using Scirpus grossus</i>			
	Tangahu et al., (2013)	Air limbah yang mengandung logam berat Pb	Kadar Pb	<i>Scirpus grossus</i> <ul style="list-style-type: none"> • Penurunan Kadar Pb 100%, 99,9%, 99,7%
Judul	Uji penurunan kandungan BOD dan COD pada limbah cair batik menggunakan <i>Scirpus grossus</i> dan <i>Egeria densa</i>			
	Octarina, (2015)	Limbah cair industri batik	BOD COD	<i>Scirpus grossus</i> memiliki kemampuan yang lebih baik dari pada <i>Egeria densa</i> dengan

	Sumber	Jenis limbah	Parameter	Hasil
				efisiensi penurunan BOD dan COD mencapai 90% pada limbah pewarna dan pelorodan.
Judul	Efektifitas Sistem Lahan Basah Buatan sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Domestik menggunakan Tumbuhan Hias <i>Iris pseudoacorus</i>			
	Prawira, (2015)	Limbah cair domestik	BOD COD	<i>Iris pseudoacorus</i> <ul style="list-style-type: none"> • Penurunan BOD 86.2 % • Penurunan COD 87.8 %

2.8 Pola Pemaparan secara *Intermittent*

Pengoperasian pemaparan secara *intermittent* pada hakikatnya adalah pemberian air dengan rotasi terputus-putus. Pengoperasian secara *intermittent* berarti memberi jeda waktu kering pada reaktor tanpa pemberian air limbah dalam masa operasi. Prinsip pemaparan secara *Intermittent* adalah pemberian limbah sampai tinggi genangan yang diinginkan dengan waktu pemberian limbah yang telah ditentukan. Setelah itu pemberian limbah dihentikan sampai genangan di reaktor habis. Setelah genangan habis reaktor diairi kembali (Taufik, 2013). Berdasarkan Poach dan Hunt (2007), Pemaparan secara *intermittent* ini dengan menerapkan siklus *flooding and drying*. Sistem ini mampu meningkatkan penyisihan COD dan nitrogen dibandingkan dengan pengoperasian secara kontinyu. Walaupun pemaparan secara *intermittent* tidak mampu meningkatkan penyisihan fosfor (Tanner *et al.*, 1999). Sistem pemaparan ini mampu meningkatkan DO dalam media secara signifikan (Kadlec dan Wallace, 2009).

Siklus *flooding* adalah disaat kondisi tumbuhan tarpapar oleh limbah, sedangkan siklus *drying* adalah disaat tumbuhan tidak terpapar oleh limbah (Jia *et al.*, 2010). Siklus *flooding* dilakukan dengan reaktor diberi air limbah, kemudian air ditahan dalam reaktor selama variasi periode *flooding*. Siklus *drying* dilakukan dengan mengeluarkan air dalam reaktor melalui *outlet*. Reaktor kemudian dibiarkan kosong dari air limbah selama variasi periode *drying* (April dan Mangkoedihardjo, 2010). Proses aerasi alami akan terjadi pada sistem pemaparan secara *intermittent* melalui siklus *flood and drain* ini. Aerasi pada media dapat menambah kondisi redoks sehingga dapat menambah efisiensi penyisihan (Chazarenc *et al.*, 2009). Aerasi dapat menambah aktivitas biologis dan menstimulasi mekanisme nitrifikasi denitrifikasi. Kondisi pemaparan secara *intermittent* memungkinkan udara untuk mengisi pori-pori substrat, sehingga transfer oksigen dari atmosfer ke sistem berlangsung lebih cepat (Prochaska dan Zouboulis, 2006). Difusi oksigen akan berlangsung sangat cepat dan masuk ke dalam akar maupun *biofilm* yang terbentuk (Behrends *et al.*, 2000). Pemaparan secara *intermittent* ini juga merupakan solusi terhadap *clogging* pada media yang biasanya terjadi bila reaktor telah cukup lama beroperasi (Lee, 2008). Keadaan ini membantu proses dekomposisi kontaminan secara aerobik (Kadlec dan Wallace, 2009). Pola pemaparan secara *intermittent* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Pola Pemaparan Intermittent
 Sumber: Jie *et al* (2010)

Berdasarkan penelitian Zhang *et al.* (2005), tingkat penurunan nitrogen lebih baik secara *intermittent* sebesar 91% daripada secara kontinyu hanya 77,7%. Tujuan *feeding* secara *intermittent* adalah untuk menjamin oksigen dapat mengalir di dalam media. Metode ini tergolong metode yang sederhana dan memerlukan biaya rendah. Sistem ini tidak memiliki efek yang buruk terhadap pertumbuhan tumbuhan, bahkan sistem *intermittent* mampu meningkatkan konsentrasi oksigen dalam substrat dan bermanfaat untuk pertumbuhan akar (Jia *et al.*, 2010)

2.9 Pengaruh Media

Menurut Kurniadie (2011), media tumbuh tumbuhan merupakan salah satu faktor pendukung utama dalam instalasi penjernih limbah cair. Hal ini disebabkan karena proses biologi, kimia dan fisika dalam penjernihan limbah cair terjadi pada media yang ditanami dengan berbagai macam tumbuhan gulma air *emergent*. Jenis media yang digunakan sangat berpengaruh pada efisiensi pembersih dari instalasi pengolahan limbah cair.

Media berperan sebagai tempat menempelnya mikroorganisme sehingga memperluas permukaan sistem lahan basah buatan. Menurut Meier (2000), Kumpulan dari mikroorganisme yang melekat pada permukaan dengan kuat yang memproduksi metriks polimerik ekstraseluler serta diselimuti oleh karbohidrat disebut dengan *biofilm*. Mikroorganisme akan hidup dengan membentuk koloni dan menempel pada permukaan benda padat (Helianti, 2007). Jenis mikroorganisme yang diharapkan berkembang adalah heterotropik aerobik. Hal ini dikarenakan penguraian bahan organik dalam tanah basah (rawa buatan) berlangsung secara aerobik dan anaerobik (Vyzamal, 1999).

Media juga berperan untuk menyokong tumbuhan air, membantu proses filtrasi dan menampung sedimen (Zurita *et al.*, 2006). Menurut Kurniadie (2011), beberapa fungsi dari media tumbuh adalah sebagai berikut:

- a. Media tumbuh gulma air *emergent* merupakan tempat menempel mikroorganisme untuk dekomposisi bahan organik pencemar.
- b. Mempengaruhi *retention time* (waktu tinggal).

- c. Memberikan kesempatan mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan pencemar pada limbah cair.
- d. Tersedianya oksigen yang akan berpengaruh pada efisiensi pembersih dari instalasi pengolahan limbah cair.

2.10 Mekanisme Kombinasi antara Mikroorganisme dan Tumbuhan

Salah satu faktor pendukung dalam proses *phytotreatment* adalah pengaruh mikroorganisme. Degradasi senyawa kimia oleh bakteri di lingkungan merupakan proses penting untuk mengurangi kadar bahan pencemar di lingkungan. Proses degradasi oleh bakteri melalui suatu seri reaksi kimia yang kompleks dalam berbagai proses oksidasi. Aktivitas bakteri rizosfir berlangsung secara dinamis di sekitar sistem perakaran tumbuhan. Ini disebabkan oleh adanya molekul organik yang dikeluarkan oleh tumbuhan seperti gula dan asam organik dimanfaatkan oleh bakteri rizosfir. Di sisi lain bakteri merupakan komponen penting dalam menjaga kesehatan tumbuhan (Munir, 2006).

Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Mikroorganisme perombak bahan organik merupakan *activator* biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini tepat untuk dekontaminasi zat organik (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Setiap jenis tumbuhan akan memiliki kemampuan yang berbeda-beda untuk menghasilkan oksigen, sehingga kondisi aerob pada daerah *rhizosphere* untuk tiap-tiap jenis tumbuhan

akan menjadi faktor pembatas terhadap kehidupan mikroorganisme. Bagi jenis bakteri aerob, konsentrasi oksigen merupakan faktor pembatas, sehingga suasana aerob pada daerah rhizosphere tersebut yang menyebabkan mikroorganismenya yang dapat bersimbiosis dengan masing-masing jenis tumbuhan akan spesifik (Supradata, 2005).

2.11 Karakteristik *Scirpus grossus*

Scirpus grossus atau Walingi umumnya ditemukan dalam jumlah besar secara berkelompok (Heyne, 1987). *Scirpus grossus* memiliki akar berserat putih berwarna coklat. Batang berbentuk segitiga dan panjang lebih dari 2 m atau lebih dengan ketebalan 10 mm halus dan meruncing di bagian atas. Bunga bergabung menjadi satu atau biseksual. Organ perkembangbiakan tumbuhan ini berupa stolon yang menjalar ke dalam tanah. Pada setiap ruas tumbuhan ini dapat tumbuh tunas dan akar yang menjadi individu baru. Bentuk *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Berikut ini merupakan klasifikasi *Scirpus grossus* berdasarkan Bayer (1992):

<i>Kingdom</i>	: Plantae (<i>Plants</i>)
<i>Subkingdom</i>	: Tracheobionta (<i>Vascular plants</i>)
<i>Superdivision</i>	: Spermatophyta (<i>Seed plants</i>)
<i>Division</i>	: Magnoliophyta (<i>Flowering plants</i>)
<i>Class</i>	: Liliopsida (<i>Monocotyledons</i>)
<i>Subclass</i>	: Commelinidae
<i>Order</i>	: Cyperales
<i>Family</i>	: Cyperaceae
<i>Genus</i>	: <i>Scirpus</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Scirpus grossus</i>

Tumbuhan ini relatif cocok digunakan untuk *phytotreatment* pengolahan air limbah karena sifatnya sebagai tumbuhan hiperakumulator (Tangahu *et al.*, 2013). *Scirpus grossus* dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair secara alami dari perusahaan, industri, maupun rumah tangga (Jinadasa *et al.*, 2008).

Scirpus grossus merupakan *amphibious hydrophytes*. Tumbuhan hidrofita yang bersifat amphibi ini merupakan tumbuhan yang beradaptasi pada lingkungan akuatik dan

lingkungan terestris. Jenis-jenis tumbuhan ini tumbuh di perairan dangkal atau perairan yang berlumpur.



Gambar 2. 5 Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Dokumentasi hasil survei (Sawah di Rungkut)

Scirpus grossus banyak ditemukan di rawa-rawa atau di lahan basah (Barnes dan Chan, 1990) namun dapat pula ditemukan di daerah tanah kering yang subur dengan sirkulasi yang baik. Kemampuan dalam menurunkan kadar BOD dan COD yang terdapat pada limbah cair mencapai lebih dari 90% (Yasril, 2009).

2.12 Karakteristik *Iris pseudacorus*

Tumbuhan *Iris* termasuk tumbuhan bunga “*perennial*” yang artinya salah satu bunga yang dapat hidup lebih dari 2 tahun. Panjang akar biasanya 4 – 8 inci (10-20 cm) dan memiliki getah berwarna hitam. Setiap individu menghasilkan 10 daun yang ditutupi oleh lapisan lilin berwarna putih dan abu-abu. Daunnya berbentuk pedang dengan panjang 50 – 100 cm dan lebarnya 10 – 30 cm. Berkembang biak setiap bulan secara vegetatif melalui sistem perakaran maupun secara generatif melalui biji yang terletak diujung batang pada pangkal daun. Bentuk *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Adapun klasifikasi tumbuhan “iris” (*Iris pseudacorus*) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae (tumbuhan)
Subkingdom : Tracheobionta (berpembuluh)
Super Divisi : Spermatophyta (berbiji)
Divisi : Magnoliophyta (berbunga)
Klas : Liliopsida (monokotil)
Sub-kelas : Liliidae
Ordo : Liliales
Familia : Iridaceae
Genus : *Iris*
Spesies : *Iris pseudacorus*



Gambar 2. 6 Tumbuhan *Iris pseudacorus*

Sumber: Dokumentasi hasil survei (Rawa di Bratang)

Tumbuhan *Iris pseudacorus* memiliki kapasitas serapan hara lebih tinggi dibanding *Typha orientalis*, *Pharagmites australis* (Suswati, 2012). Tumbuhan tersebut dapat hidup pada area-area yang memiliki kandungan zat organik terlarut yang sangat tinggi dan tumbuhan ini dapat menurunkan zat organik terlarut hingga 25% (Jacobs *et al.*, 2010).

Tumbuhan Iris dapat tumbuh di berbagai jenis tanah misalnya pada tanah berkerikil di pantai dimana akar-akar menembus ke dasar tanah, hingga pada tanah liat yang tergenang. Umumnya tumbuhan tersebut tumbuh di daerah-daerah yang memiliki kandungan air tanah yang cukup tinggi, tetapi tidak harus terendam, serta dapat tumbuh pada tanah berpasir yang kering. Tumbuhan ini sering ditemukan di rawa-rawa, dengan pH 3,6 – 7,7 (Jacobs *et al.*, 2010).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Umum

Penelitian dilakukan untuk memperbaiki kualitas buangan limbah cair pewarnaan batik menggunakan sistem *phytotreatment* dengan variasi jenis tumbuhan dan sistem pemaparan secara *intermittent*. Jenis tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* (*Single plant* dan *Mixed plant*). Sistem pemaparan secara *intermittent* yang digunakan dengan perbandingan siklus *flood and drain* adalah F/D 1:2 dan F/D 2:1. Parameter utama yang digunakan adalah penurunan kadar BOD, COD, dan warna, adapun parameter pendukung seperti morfologi tumbuhan, berat basah, berat kering tumbuhan, pH dan suhu. Pengamatan dilakukan dengan mengamati laju pertumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* yang terpapar limbah dengan waktu dan konsentrasi tertentu.

Penelitian awal yang dilakukan yaitu tahap perbanyakan tumbuhan untuk menyiapkan kebutuhan tumbuhan. Kemudian tahap aklimatisasi sebagai langkah tumbuhan beradaptasi dengan kondisi lingkungan tempat percobaan. Tahap RFT dilakukan untuk mengetahui konsentrasi polutan yang mampu diterima oleh tumbuhan. Hasil dari uji RFT tersebut akan digunakan untuk melakukan penelitian utama yaitu uji *phytotreatment* melalui pemaparan secara *intermittent*.

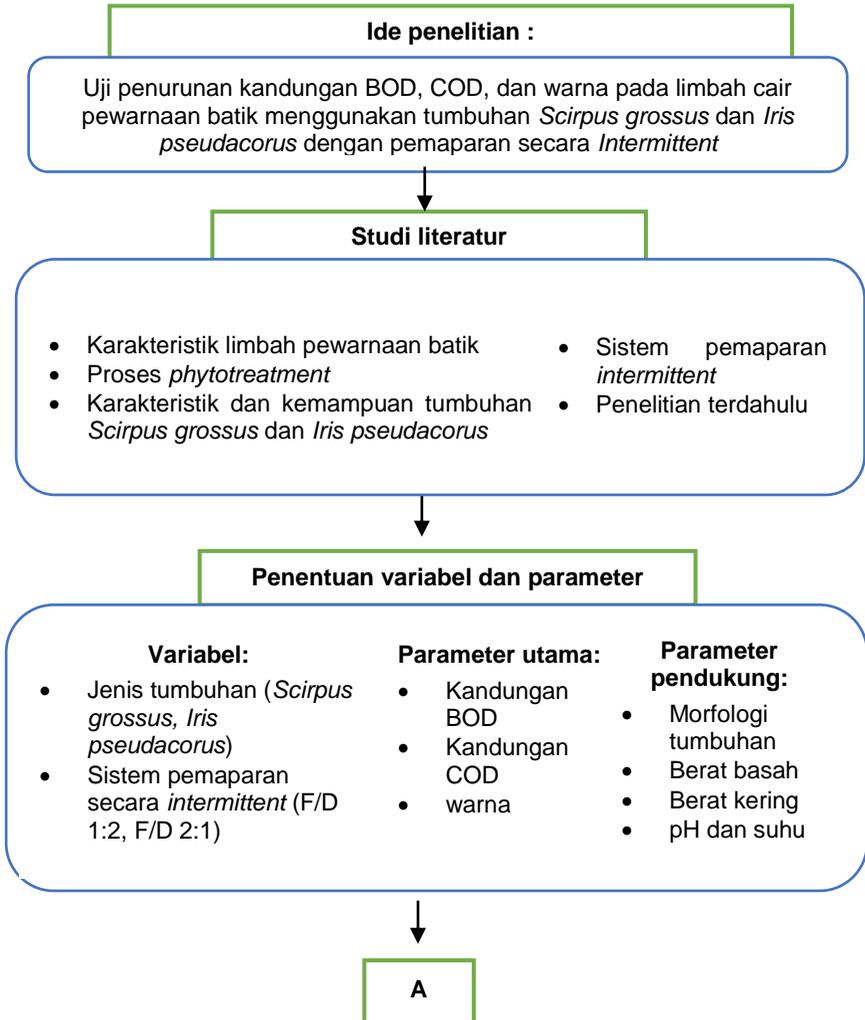
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

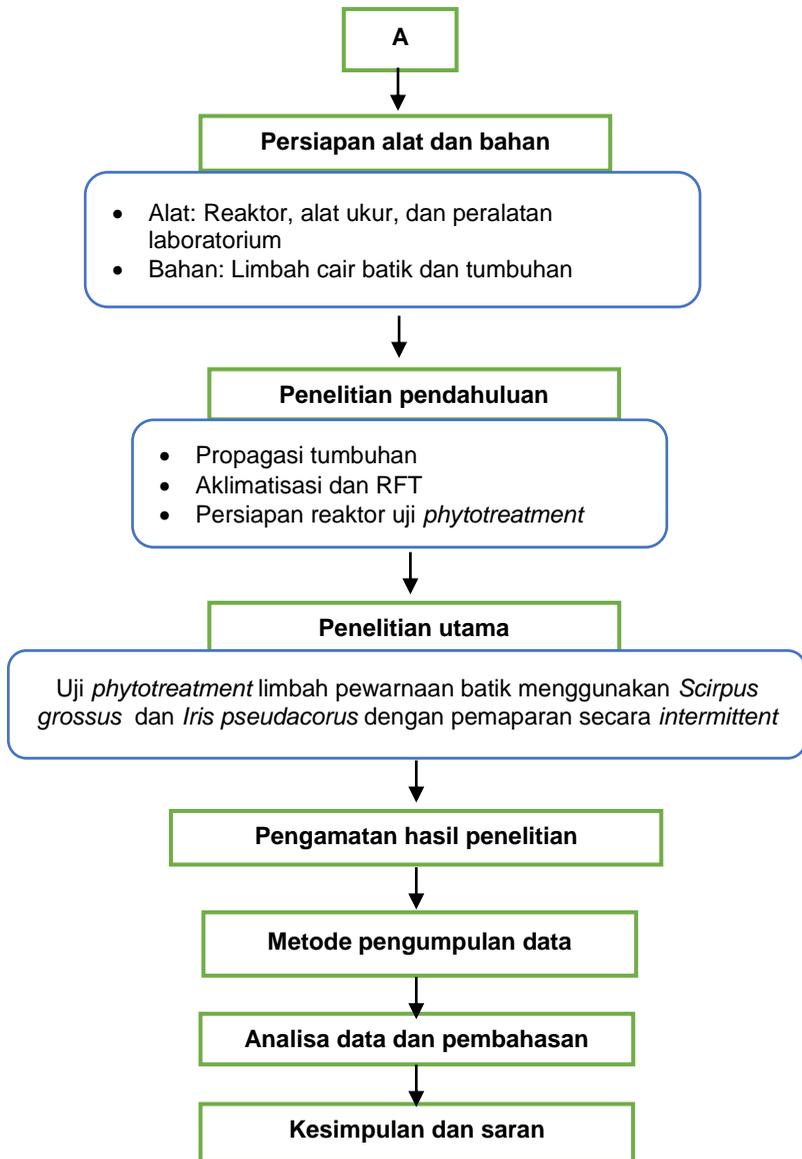
Lokasi pengambilan sampel di Toko Batik Amri Jaya yang merupakan salah satu sentra industri batik di Jetis, Sidoarjo. Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Teknik Lingkungan ITS. Penelitian dilakukan selama 2 bulan dari bulan September sampai bulan November 2016.

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran alur pikir penelitian ini. Penyusunan langkah-langkah penelitian yang jelas dan sistematis bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Kerangka penelitian berisikan urutan langkah atau kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian, sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

A. Ide Penelitian

Hal yang mendasari adanya penelitian ini adalah meningkatnya produksi batik, namun tidak memperhatikan pengolahan dari limbah yang dihasilkan. Salah satu industri batik ini terletak di kawasan Jetis, Sidoarjo. Kandungan limbah produksi batik mengandung BOD, COD, dan warna yang tinggi sehingga membahayakan kelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat. Pengolahan limbah industri batik perlu dilakukan sebelum limbah dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah ini dapat dilakukan dengan sistem yang mudah dan efisien yaitu dengan pemanfaatan tumbuhan atau secara *phytotreatment*. Upaya dalam meningkatkan keefektifan *phytotreatment* dapat diterapkan melalui sistem pemaparan secara *intermittent*. Penyesuaian pemaparan secara *intermittent* dianggap mampu meningkatkan efisiensi penurunan kandungan BOD, COD, dan warna limbah batik.

B. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk menjadi dasar dalam melakukan penelitian. Berbagai informasi data dan sumber informasi didapatkan dari studi literatur ini. Studi literatur yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, *thesis*, penelitian terdahulu, serta konsultasi dengan dosen terkait dengan topik penelitian. Hal-hal yang didapatkan dari studi literatur berupa:

- Karakteristik limbah industri batik di wilayah Jetis, Sidoarjo.
- Penerapan metode *phytotreatment* untuk pengolahan limbah.
- Karakteristik dan kemampuan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* untuk proses *phytotreatment*.
- Penerapan sistem pemaparan *intermittent* pada pengolahan limbah.
- Mempelajari hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini.

C. Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel merupakan sesuatu yang bisa diberi nilai sedangkan parameter merupakan sesuatu yang bisa diukur. Variabel dan parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu variasi jenis tumbuhan dan variasi sistem pemaparan secara *intermittent*. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* yang dilakukan dalam kondisi *single plant* (*Scirpus grossus* atau *Iris pseudacorus*) dan kondisi *mixed plant* (*Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*).

Variasi sistem pemaparan secara *intermittent* yang digunakan dengan menerapkan variasi siklus *flooding* dan *drying*. Pengoperasian reaktor yaitu F/D 1:2, dan F/D 2:1. yang dilakukan selama 18 hari. Lama pengamatan selama 18 hari digunakan untuk mengetahui kemampuan optimum tumbuhan dalam menyerap pencemar. karena didasarkan pada penelitian Tangahu (2015) bahwa limbah batik dapat diuraikan oleh tumbuhan dengan waktu optimum selama 12 hari. Kondisi variasi setiap variabel dapat dilihat pada Tabel 3.1. Jumlah dan kondisi reaktor uji dapat dilihat pada Tabel 3.2. Denah perlakuan reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2

- Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi BOD, COD, dan warna dari limbah cair pewarnaan batik yang sudah diolah secara *phytotreatment*. BOD dan COD adalah parameter yang menjadi baku mutu berbagai air limbah industri selain beberapa parameter kunci lainnya. Parameter BOD dan COD sebagai indikasi pencemaran bahan organik (Hariyadi, 2004). Sedangkan warna merupakan parameter fisik yang dapat diamati pada lingkungan tercemar (Wardhana, 2001).

- Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan berupa kontrol tumbuhan dan kontrol limbah. Sebagai kontrol tumbuhan

digunakan air PDAM dengan media dan tumbuhan. Sebagai kontrol limbah digunakan media tanpa tumbuhan.

- Parameter Utama
Parameter utama yang diukur adalah konsentrasi BOD, COD, dan warna limbah produksi batik.
- Parameter Pendukung
Parameter pendukung yang diukur adalah morfologi tumbuhan, berat basah, berat kering, pH, dan suhu.

Tabel 3. 1 Matriks Variabel Penelitian

Variasi Jenis Tumbuhan	Variasi Sistem Pemaparan (F/D)	
	1:2 (A)	2:1 (B)
<i>Scirpus grossus</i> (1)	A1	B1
<i>Iris pseudacorus</i> L (2)	A2	B2
<i>Mixed plant</i> (3)	A3	B3

Keterangan: 1,2,3 = Variasi jenis tumbuhan
A,B = Variasi sistem pemaparan

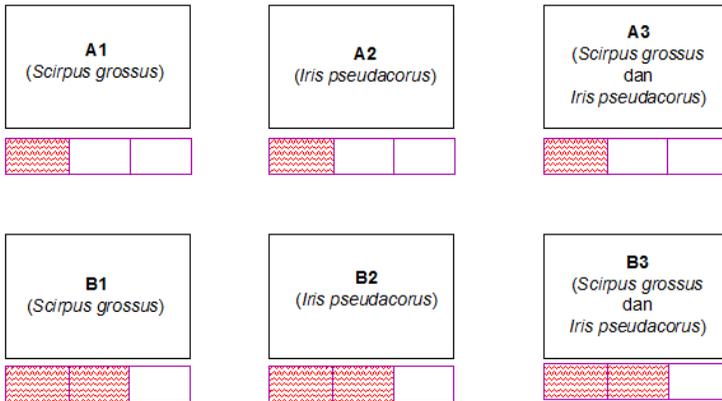
Tabel 3. 2 Jumlah dan Kondisi Reaktor Uji

Reaktor	Jenis Tumbuhan	Sistem Pemaparan (F/D)	Vegetasi
1	<i>Scirpus grossus</i>	1:2	Tumbuhan, media, air limbah
2	<i>Iris pseudacorus</i>	1:2	Tumbuhan, media, air limbah
3	<i>Mixed plant</i>	1:2	Tumbuhan, media, air limbah
4	<i>Scirpus grossus</i>	2:1	Tumbuhan, media, air limbah
5	<i>Iris pseudacorus</i>	2:1	Tumbuhan, media, air limbah
6	<i>Mixed plant</i>	2:1	Tumbuhan, media, air limbah
7*	-	1:2	Media, dan air limbah
8*	-	2:1	Media, dan air limbah
9**	<i>Scirpus</i>	1:2	Media dan air PDAM

Reaktor	Jenis Tumbuhan	Sistem Pemaparan (F/D)	Vegetasi
	<i>grossus</i>		
10**	<i>Iris pseudacorus</i>	1:2	Media dan air PDAM
11**	<i>Mixed plant</i>	1:2	Media dan air PDAM
12**	<i>Scirpus grossus</i>	2:1	Media dan air PDAM
13**	<i>Iris pseudacorus</i>	2:1	Media dan air PDAM
14**	<i>Mixed pant</i>	2:1	Media dan air PDAM

Keterangan: *Kontrol media

**Kontrol tumbuhan



Keterangan:



= Jenis reaktor



= Sistem pemaparan



= Siklus *flooding*

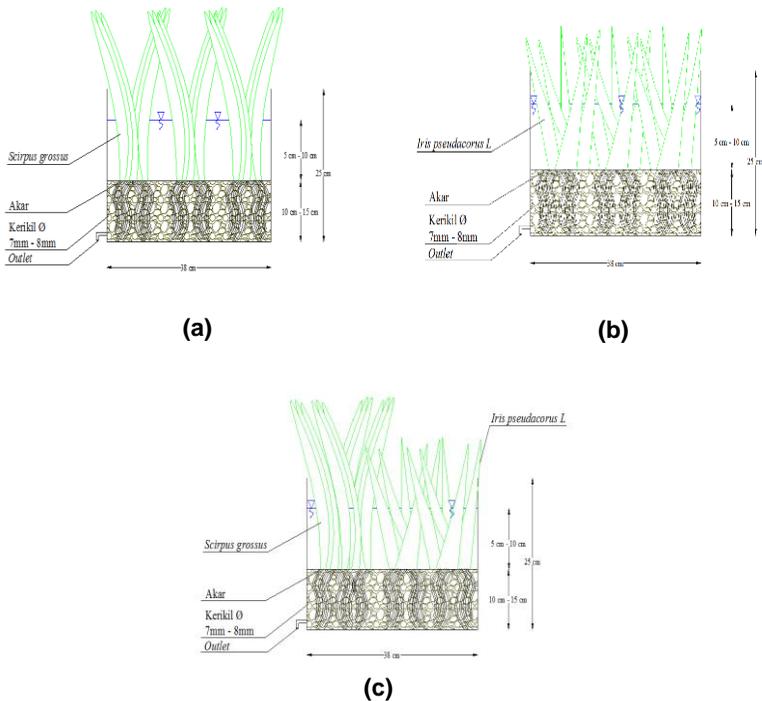


= Siklus *drying*

Gambar 3. 2 Perlakuan reaktor

D. Persiapan Alat dan Bahan

- Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
 - Reaktor untuk perbanyakkan tumbuhan dan aklimatisasi berupa *box* plastik dengan ukuran volume 35 L (38 cm X 28 cm X 25 cm).
 - Reaktor untuk tahap *Range Finding Test* berupa ember plastik bervolume 8 L.
 - Reaktor untuk uji *phytotreatment* berupa reaktor dengan sistem pemaparan *intermittent*. *Box* reaktor yang digunakan berukuran 38 cm X 28 cm X 25 cm. Reaktor terbuat dari plastik dengan lubang saluran *outlet* di bawah untuk membuka dan menutup saluran *effluent*. Setiap reaktor diisi dengan media kerikil dengan ketinggian media 10 cm - 15 cm karena menyesuaikan dengan panjang akar dari tumbuhan (Tangahu *et al.*, 2011). Ketinggian air di atas media mencapai 5 cm - 10 cm (Al-Baldawi *et al.*, 2013). Sketsa reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.3
 - Jrigen untuk sampling air limbah
 - pH meter dan thermometer *portable*
 - Penggaris untuk mengukur tinggi tumbuhan
 - Timbangan untuk mengukur berat tumbuhan
 - Spektrofotometri
 - Perlengkapan untuk pengukuran BOD: botol *winkler* 300 ml sebanyak 2 buah, botol *winkler* 150 ml sebanyak 2 buah, *incubator*, labu takar 500 ml 1 buah, pipet 10 ml, 5 ml, gelas ukur 100 ml 1 buah, buret 25 ml 1 buah, dan erlenmeyer 250 ml 1 buah.
 - Perlengkapan untuk pengukuran COD: buret 50 ml, erlenmeyer COD, alat refluks dan pemanasnya. Pipet 10 ml, *beaker glass* 50 ml, dan penjepit buret.
- Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
 - Air limbah hasil produksi batik
Air limbah pewarnaan batik diambil dari toko batik Amri Jaya, yang merupakan salah satu dari sentra industri batik di wilayah Jetis, Sidoarjo. Tidak ada pengolahan pendahuluan terhadap air limbah sebelum air limbah diaplikasikan ke reaktor.



Gambar 3. 3 Reaktor Penelitian
(a) Reaktor Single Plant (*Scirpus grossus*), (b) Reaktor Single Plant (*Iris pseudacorus*), (c) Reaktor Mixed Plant (*Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*)

- Air PDAM dan kerikil
 Air yang digunakan adalah air PDAM. Air PDAM yang akan digunakan terlebih dahulu dидiamkan dan diendapkan selama 1-2 malam, untuk mengendapkan polutan yang mudah mengendap dengan sendirinya.
 Kerikil digunakan sebagai media penyangga. Media ini membantu lubang *effluent* sehingga lebih menunjang aliran dalam reaktor (Zhang *et al.*, 2010). Penggunaan media ini akan membantu peredaran

larutan unsur hara dan udara serta pada prinsipnya tidak menekan pertumbuhan akar. Kerikil memiliki luas permukaan yang besar, bakteri dapat hidup dan melekat pada permukaannya. Selain itu, penyumbatan yang terjadi pada kerikil sangat kecil. Kerikil memiliki volume rongga yang besar dibandingkan dengan media lain, mudah didapat dan harganya relatif lebih murah (Hadiwidodo., dkk 2012).

- Tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*
Tumbuhan yang digunakan diupayakan memiliki usia yang sama. Tumbuhan tersebut akan dibiarkan pada media aslinya dengan disiram menggunakan air PDAM. Tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini adalah tumbuhan yang masih segar dan sehat (Octarina, 2015).
- Bahan untuk analisa BOD, COD, dan warna rincian bahan dapat dilihat pada lampiran A.

E. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mempersiapkan media dan tumbuhan sebelum digunakan dalam penelitian inti. Penelitian pendahuluan yang dilakukan meliputi:

- Propagasi tumbuhan
Propagasi dilakukan untuk memperbanyak bibit tumbuhan yang diperlukan untuk penelitian. Tahap ini dilakukan minimal selama 1 bulan sampai tumbuhan memiliki ukuran dan bentuk tumbuh secara optimum (Suelee, 2015). Pada tahap ini tumbuhan ditanam dalam kotak reaktor plastik dengan tanah taman dan dilakukan penyiraman rutin menggunakan air PDAM. Penyiraman dilakukan setiap 3 hari sekali, dengan volume air PDAM sebanyak ± 10 Liter sampai air menggenang di atas permukaan. Selama tahap perbanyak tumbuhan diletakkan di *green house* Teknik Lingkungan yang dilengkapi dengan paranet diberbagai sisinya. Fungsi dari adanya paranet ini supaya tumbuhan tidak terpapar langsung oleh sinar matahari dan terkena intensitas yang

cukup. Keadaan ini dapat membantu tumbuhan tumbuh dengan subur dan berkembang biak dengan baik.

Berdasarkan Al-Baldawi *et al.* (2015), selama masa propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*).

Pengamatan terhadap *growth rate Scirpus grossus* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik *Scirpus grossus* berupa tinggi tumbuhan, lebar sisi batang dan jumlah daun. Pengamatan terhadap tinggi tumbuhan dilakukan dengan mengukur tinggi *Scirpus grossus* dari atas permukaan media tumbuh sampai pucuk tertinggi tanpa memperhatikan posisi daun (Mangkoedhardjo dan Samudro, 2010). Pengamatan terhadap lebar sisi batang dilakukan dengan mengukur lebar salah satu sisi batang dari *Scirpus grossus*, hal ini dilakukan karena *Scirpus grossus* memiliki bentuk batang segitiga sama sisi, sehingga dapat diindikasikan bahwa lebar setiap sisi adalah sama.

Pengamatan terhadap *growth rate Iris pseudacorus* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan *Iris pseudacorus* berupa panjang tumbuhan, lebar daun dan jumlah daun. Pengamatan terhadap panjang tumbuhan dilakukan dengan meluruskan posisi daun memanjang dari batang dan mengukur dari bagian tumbuhan di atas media tumbuh sampai pucuk terpanjang (Mangkoedhardjo dan Samudro, 2010). Pengamatan terhadap lebar daun dilakukan dengan mengukur lebar bagian sisi daun. Pengamatan terhadap jumlah daun dilakukan dengan cara menghitung jumlah helai daun tumbuhan *Iris pseudacorus*.

Tumbuhan dengan umur dan tinggi yang sama akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000).

- Aklimatisasi

Aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang akan

digunakan pada tahap uji RFT dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara meletakkan tumbuhan pada reaktor yang akan digunakan pada penelitian uji *phytotreatment*. Tahap ini dilakukan selama 7 hari menggunakan media kerikil tanpa pencemar, dan menggunakan air PDAM. Aklimatisasi tumbuhan dilakukan dalam reaktor *box* plastik berukuran 35 L. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan karakteristik tumbuh subur (tidak layu dan mati). Tumbuhan dengan kondisi inilah yang akan digunakan untuk tahap RFT dan penelitian utama (Octarina, 2015).

- RFT (*Range Finding Test*)

RFT dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan pada konsentrasi tertentu. Tahap ini dilakukan dengan membuat variasi konsentrasi air limbah yang kemudian akan diujikan pada tumbuhan pengolah. Reaktor yang digunakan adalah ember berukuran 8 L yang berisi media kerikil dengan tinggi 10 cm – 15 cm dengan volume limbah sebanyak 3 L dengan berbagai variasi konsentrasi. Tumbuhan yang digunakan pada tahap ini yaitu tumbuhan hasil dari tahap aklimatisasi sebelumnya. USEPA *Guidelines Part* OPPTS 850.4400 menyatakan bahwa banyak konsentrasi yang divariasikan pada tahap RFT yaitu 5 konsentrasi selama 7 hari. Variasi konsentrasi yang akan digunakan adalah 0% (kontrol), 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Pada masing-masing konsentrasi akan diamati parameter pertumbuhan tumbuhan. Pada konsentrasi yang membuat tumbuhan masih segar (tidak layu dan mati) inilah yang akan digunakan pada uji utama *phytotreatment*.

- Persiapan reaktor uji utama dan pengukuran kebutuhan air limbah

Sebelum diisi dengan air limbah, sebelumnya reaktor uji utama perlu dilakukan persiapan dan pengujian awal untuk mendukung sistem yang akan digunakan terhadap pengolahan air limbah. *Box* reaktor plastik yang digunakan berukuran 38 cm X 28 cm X 25 cm. Persiapan reaktor ini berupa penyusunan kerangka reaktor meliputi pemasangan *outlet* pada reaktor dan pemasangan media

kerikil dalam reaktor dengan ketinggian 10 cm – 15 cm karena menyesuaikan dengan panjang akar tumbuhan (Al-Baldawi *et al.*, 2015). Setelah penyusunan kerangka reaktor selesai, dilakukan pengecekan untuk mengetahui kesesuaian antara tinggi media dan volume limbah yang akan digunakan (Zhang., *et al* 2010).

F. Penelitian Utama

Penelitian utama yaitu tahap uji *phytotreatment* dengan sistem pemaparan secara *intermittent*. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mempersiapkan limbah batik dengan konsentrasi berdasarkan hasil uji RFT pada penelitian sebelumnya. Penelitian dilakukan dengan menyiram setiap reaktor yang sudah berisi media kerikil dengan limbah cair pewarnaan batik. Variasi sistem pemaparan secara *intermittent* dilakukan dengan perbandingan siklus *flooding* dan *drying* (F/D). Pemaparan secara *intermittent* yaitu reaktor diberi air limbah (*flooding*) secara *intermittent* dengan ada jeda waktu dimana reaktor dibiarkan kering tidak diberi air limbah (*drying*). *Flooding* dengan memasukkan air ke dalam reaktor dalam kondisi lubang *outlet* ditutup. Keadaan *flooding* dilakukan dengan reaktor diberi air limbah, kemudian air ditahan dalam reaktor selama variasi periode *flooding* (1 atau 2 hari). *Drying* dengan membuka lubang *outlet* dan tidak ada air yang dimasukkan ke reaktor. Keadaan *drying* dilakukan dengan mengeluarkan air dalam reaktor melalui *outlet*. Reaktor kemudian dibiarkan kosong dari air limbah selama variasi periode *drying* (1 atau 2 hari masa kering). Proses pengaliran air limbah dilakukan begitu seterusnya (April dan Mangkoedihardjo, 2010).

Variasi sistem yang akan digunakan yaitu F/D 1:2 (masa *flooding* selama 1 hari, dan *drying* selama 2 hari), dan F/D 2:1 (masa *flooding* selama 2 hari, dan *drying* selama 1 hari), yang dilakukan selama 18 hari. Lama pengamatan ini untuk mengetahui kemampuan optimum tumbuhan dalam menyerap pencemar. Didasarkan pada penelitian Tangahu (2015), bahwa limbah batik dapat diuraikan oleh tumbuhan dengan waktu optimum selama 12 hari. Pengamatan

dilakukan ketika masa *drying* pada masing-masing reaktor uji (Jia *et al.*, 2010). Parameter yang diukur adalah BOD, COD, morfologi tumbuhan, berat kering, berat basah, pH, dan suhu.

G. Analisis Parameter

Parameter akan diamati setiap memasuki periode *drying* pada masing-masing reaktor. Berikut ini adalah parameter yang akan diamati pada penelitian ini:

- Analisa BOD dan COD sesuai dengan SNI 6989.72:2009 dan SNI 6989.73:2009 dapat dilihat pada lampiran A.
- Analisa warna sesuai dengan APHA, 2005 dapat dilihat pada lampiran A.
- Analisa pH sesuai dengan SNI 06-6989.11-2004 dapat dilihat pada lampiran A
- Analisa suhu sesuai dengan SNI 06-6989.23-2005 dapat dilihat pada lampiran A.
- Analisa morfologi tumbuhan, meliputi:
 - Tinggi tumbuhan pada *Scirpus grossus*
 - Lebar sisi batang pada *Scirpus grossus*
 - Panjang tumbuhan *Iris pseudacorus*
 - Lebar daun tumbuhan *Iris pseudacorus*
 - Jumlah daun tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*
 - Berat basah dan berat kering tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*

Analisa morfologi tumbuhan dapat dilihat pada lampiran A.

H. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dari hasil uji penelitian. Data utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kandungan BOD dan COD *effluent*. Data pendukung yang dibutuhkan berupa morfologi tumbuhan, berat basah, berat kering, pH, dan suhu. Pengamatan dilakukan selama 18 hari. Didasarkan pada penelitian Tangahu (2015), bahwa limbah batik dapat diuraikan oleh tumbuhan dengan waktu optimum selama 12 hari.

Pengukuran kandungan BOD, COD, warna, pH, dan suhu dilakukan saat akan memasuki masa *drying* pada masing-masing reaktor, dimana pengambilan sampel dilakukan melalui saluran *outlet* pada reaktor. Perincian tata cara analisis BOD, COD, dan warna dapat dilihat pada lampiran A.

Pengukuran berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada hari ke awal, tengah, dan akhir. Proses pengukuran berat kering dilakukan dengan membersihkan tumbuhan yang diambil langsung dari tempat tumbuhnya (OECD, 1984). Tumbuhan dibersihkan dari tanah ataupun air, kemudian ditimbang dengan neraca analitik. Proses pengukuran berat kering, sampel tumbuhan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105°C selama 2 jam (Vamerali *et al.*, 2009) kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 1 jam. Sampel tumbuhan yang sudah dikeringkan ditimbang menggunakan neraca analitik.

I. Uji Signifikansi

Uji signifikansi adalah uji statistik yang bertujuan untuk mengetahui signifikansi setiap variabel dalam penelitian ini. Uji ini juga berfungsi untuk mengetahui keterkaitan satu variabel dengan variabel lain. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan *software* SPSS 16.0.

J. Analisa Data dan Pembahasan

Analisa data dan pembahasan dilakukan pada setiap data yang sudah terkumpul dari hasil penelitian. Data yang didapatkan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan dalam proses analisis secara deskriptif.

Setelah data tersaji, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan mengenai penguraian, penyelidikan, ataupun evaluasi hasil yang sudah diperoleh. Dari adanya analisis tersebut akan diperoleh hasil pengolahan limbah cair pewarnaan batik melalui *phytotreatment* dengan pemaparan secara *intermittent*.

K. Kesimpulan dan Saran

Hasil analisa data penelitian dan pembahasan melahirkan sebuah kesimpulan. Kesimpulan dibuat berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan. Kesimpulan menjawab tujuan penelitian yang hendak dicapai. Kesimpulan berupa poin-poin yang disajikan secara singkat dan jelas.

Saran merupakan rekomendasi untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya. Tujuan dari rekomendasi tersebut adalah untuk menyempurnakan dan memperbaiki penelitian selanjutnya.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Karakteristik Limbah

Limbah yang akan digunakan adalah limbah pewarna merah pada proses pematangan. Limbah diambil dari Toko Amry Jaya di sentra batik Jetik, Sidoarjo. Uji karakteristik air limbah ini digunakan untuk mengetahui kandungan awal limbah sesuai dengan parameter air limbah produksi tekstil di Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013. Hasil uji karakteristik limbah pewarna dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Pewarna Batik Jetis

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu
1	pH	-	10,80	6-9
2	TSS	mg/L	1180	50
3	COD	mg/L O ₂	3855	150
4	BOD	mg/L O ₂	2710	60
5	Sulfida	mg/L H ₂ S	0,00	0,3
6	Ammonia total	mg/L NH ₂ -N	180,92	8
7	Total kromium	mg/L Cr	0,45	1
8	Minyak dan lemak	mg/L	70	3
9	Phenol	mg/L	0	0,5
10	Warna	mg/L	152,83	-

Berdasarkan hasil analisis parameter awal, didapatkan bahwa nilai BOD dan COD limbah pewarna industri batik Jetis sebesar 2710 mg/L dan 3855 mg/L. Nilai ini melebihi dari baku mutu limbah tekstil berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013.

4.2 Tahap Propagasi Tumbuhan

Tahap propagasi tumbuhan dapat disebut juga dengan tahap perbanyakan tumbuhan. Tahap propagasi tumbuhan ini berfungsi untuk menyediakan stok kebutuhan tumbuhan yang akan digunakan dalam penelitian. Selama masa propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*). Tumbuhan yang menjadi *second generation* inilah yang nantinya akan digunakan untuk uji *Range Finding Test* (RFT) dan uji utama yaitu *phytotreatment*. Pengamatan terhadap *growth rate* dilakukan dengan pengamatan tumbuhan secara fisik.

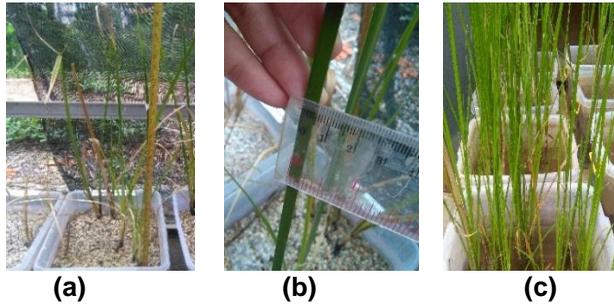
Pengamatan terhadap *growth rate* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik *Scirpus grossus* berupa tinggi tumbuhan, lebar sisi batang dan jumlah daun. Bentuk batang *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.1. Proses pengamatan terhadap tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Bentuk Batang *Scirpus grossus*

Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik *Scirpus grossus* adalah selama 3 bulan (90 hari). Berdasarkan Jinadasa *et al.* (2006), tumbuhan *Scirpus grossus* akan mencapai ketinggian maksimum dan mengarah menuju stabil pada usia mencapai 90 hari. Selain itu, berdasarkan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa setelah 90 hari lama waktu pengamatan, terdapat tunas baru yang muncul setelah tumbuh *second generation*. Hal ini menandakan 1 hidup siklus *Scirpus grossus*.

Munculnya tunas baru dari tumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Pengamatan Karakteristik Fisik *Scirpus grossus*
(a) Tinggi Tumbuhan (b) Lebar Sisi Batang (c) Jumlah Daun



Gambar 4. 3 Tunas baru *Scirpus grossus*

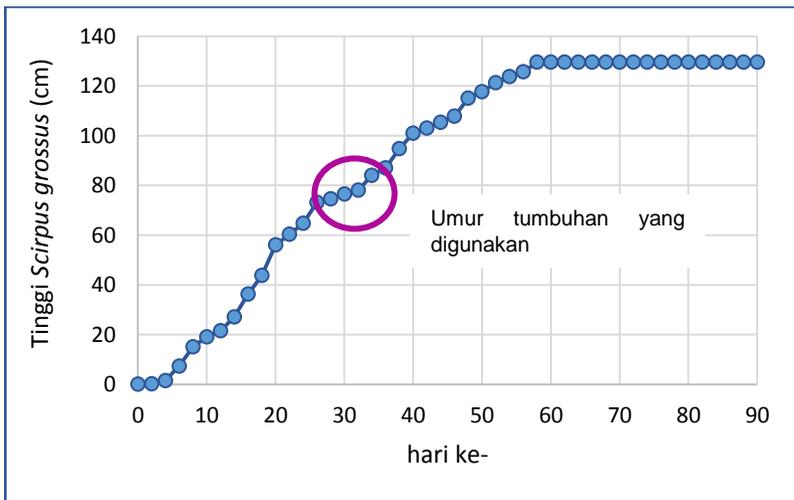
Tumbuhan dengan umur dan tinggi yang sama dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan ini akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000). Pengamatan pada fisik tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7.

Dari hasil pengamatan laju pertumbuhan *Scirpus grossus*, akan diketahui umur tumbuhan yang nantinya digunakan pada *range finding test* dan uji utama *phytotreatment*. Tumbuhan *Scirpus grossus* dipilih yang berumur 1 bulan (pada hari pengamatan ke- 30). Dimana pada usia 1 bulan ini *Scirpus grossus* memiliki tinggi 78 cm - 87 cm, lebar tumbuhan 0,5 cm -

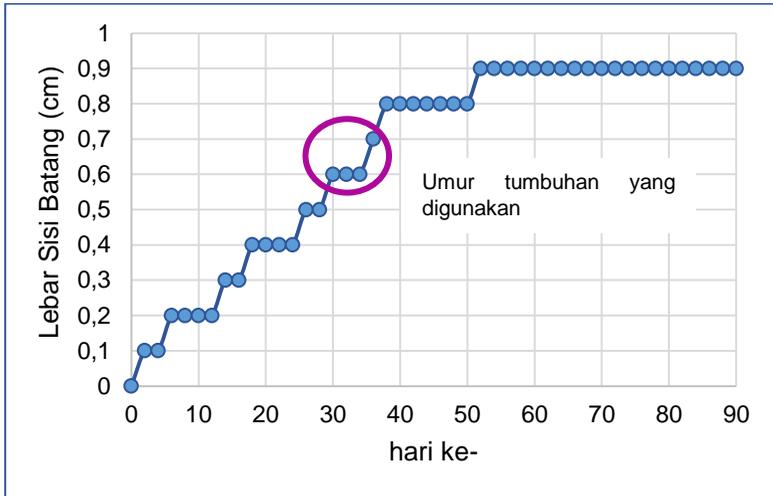
0,6 cm dan jumlah daun sebanyak 5 helai - 6 helai. Pemilihan penggunaan tumbuhan pada usia 1 bulan ini didasarkan karena tumbuhan ini akan memasuki fase generatif. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, tumbuhan dapat menyerap kontaminan secara optimal. Fase generatif tumbuhan ini pada umur mencapai 2 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Bunga pada *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



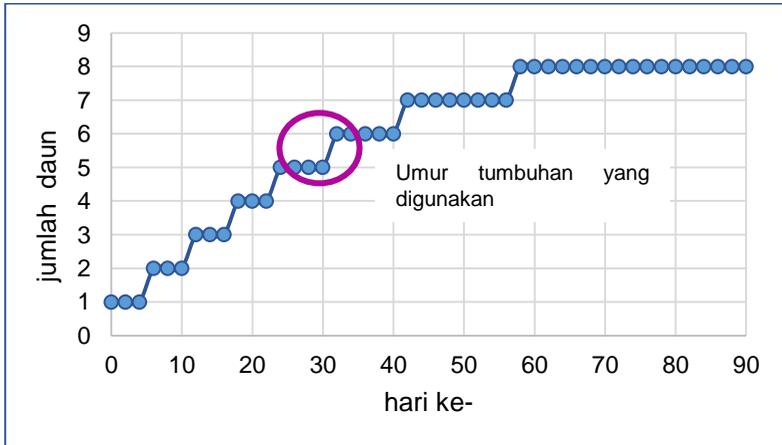
Gambar 4. 4 Fase Generatif pada *Scirpus grossus* ditandai dengan Keluarnya Bunga



Gambar 4. 5 Pertumbuhan Tinggi *Scirpus grossus*



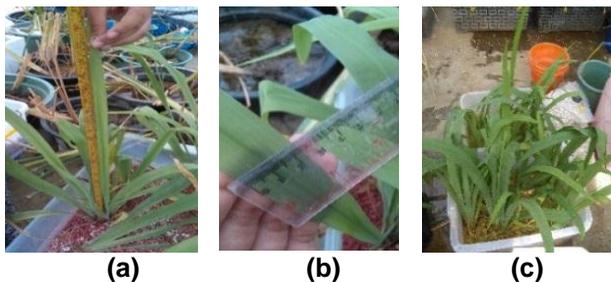
Gambar 4. 6 Pertumbuhan Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus*



Gambar 4. 7 Pertumbuhan Jumlah Daun *Scirpus grossus*

Pengamatan fisik tumbuhan *Iris pseudacorus* berupa panjang tumbuhan, lebar daun dan jumlah daun. Proses

pengamatan terhadap panjang tumbuhan, lebar daun, dan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Pengamatan Karakteristik Fisik *Iris pseudacorus* (a) Panjang Tumbuhan (b) Lebar Daun (c) Jumlah Daun

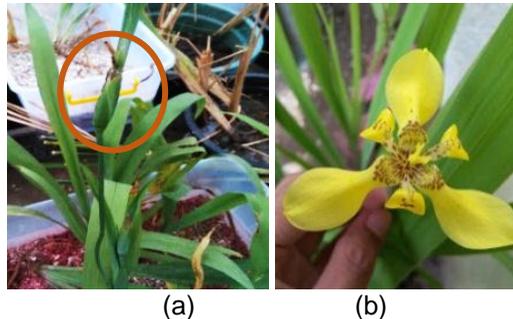
Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik *Iris pseudacorus* adalah selama 5 bulan. Pada usia 5 bulan, muncul tunas baru setelah *second generation*, dimana hal ini mengindikasikan satu siklus umur *Iris pseudacorus*. Munculnya tunas baru dari tumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Tunas Baru *Iris pseudacorus*

Hasil pengamatan terhadap fisik tumbuhan *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 4.11 sampai Gambar 4.13. Tumbuhan *Iris pseudacorus* dipilih yang berumur 3 bulan (pada hari pengamatan ke- 60). Dimana pada umur 3 bulan ini *Iris pseudacorus* memiliki tinggi 49 cm – 58 cm, lebar daun 2,6 cm - 3.2 cm dan jumlah daun 5 helai - 6 helai. Sama halnya seperti tumbuhan *Scirpus grossus*, pemilihan penggunaan

tumbuhan pada umur 3 bulan ini didasarkan karena tumbuhan ini akan memasuki fase generatif. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, tumbuhan dapat menyerap kontaminan secara optimal. Fase generatif tumbuhan ini pada umur mencapai 4 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Bunga pada *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 4.10



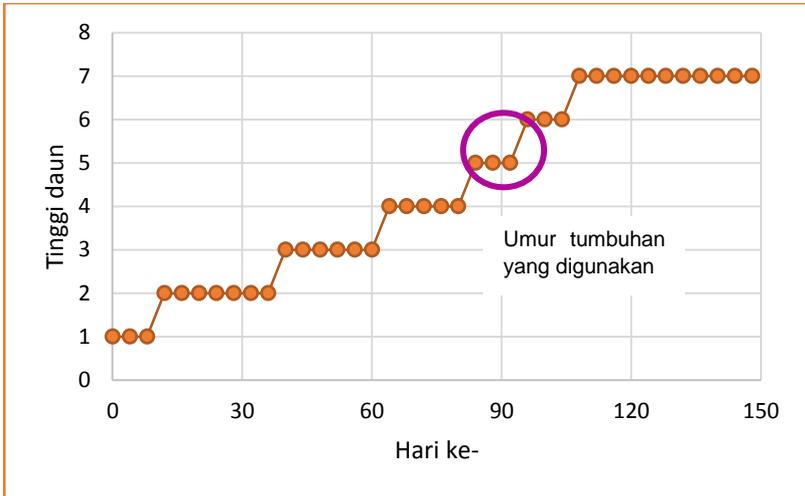
**Gambar 4. 10 Fase generatif pada *Iris pseudacorus* ditandai dengan keluarnya bunga
(a) Kuncup Bunga (b) Bunga mulai mekar**



Gambar 4. 11 Pertumbuhan Panjang *Iris pseudacorus*



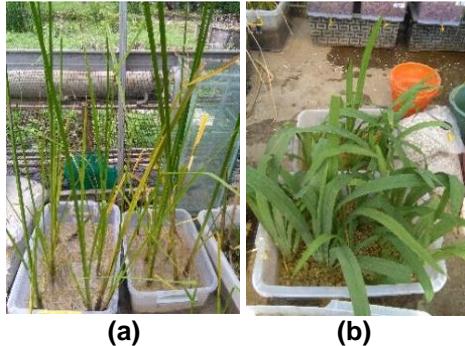
Gambar 4. 12 Pertumbuhan Lebar Daun *Iris pseudacorus*



Gambar 4. 13 Pertumbuhan Jumlah Daun *Iris pseudacorus*

4.3 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan dapat menyesuaikan dengan kondisi dan media yang akan digunakan untuk tahap *range finding test* dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi ini dilakukan selama 7 hari. Tumbuhan yang hidup dalam keadaan tidak mati dan tidak layu dipilih untuk digunakan pada uji *Range Finding Test* dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14 Tahap aklimatisasi tumbuhan
(a)Scripus grossus (b) Iris Pseudacorus

4.4 Range Finding Test (RFT)

Range finding test (RFT) digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan pada konsentrasi tertentu. Tumbuhan yang digunakan dalam RFT adalah tumbuhan hasil aklimatisasi sebelumnya. Hal ini dilakukan supaya tumbuhan sudah beradaptasi dengan lingkungan pada lokasi penelitian. Tumbuhan yang dipilih untuk RFT memiliki umur yang sama. Hal ini dimaksudkan supaya tumbuhan memiliki kemampuan yang sama untuk bertahan pada paparan limbah pewarna selama tahap RFT berlangsung.

Variasi konsentrasi yang digunakan dalam tahap RFT ini adalah 0% (kontrol), 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% (v/v). RFT ini menggunakan wadah berupa ember dengan kapasitas 8 L. Volume air limbah yang digunakan sebanyak 3 L, media kerikil yang digunakan sebanyak 3000 cm³. Tahap ini dilakukan selama

7 hari. Melalui tahap RFT ini akan diketahui konsentrasi yang tidak memberikan efek kematian pada tumbuhan. Konsentrasi inilah yang nantinya akan digunakan pada uji *phytotreatment*. Penentuan jumlah tumbuhan yang digunakan pada tahap RFT ini berdasarkan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{Scirpus grossus} &= \text{Densitas } \textit{Scirpus grossus} \times \text{volume media} \\ &= 6,27 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3 \times 3000 \text{ cm}^3 \\ &= 188,1 \text{ gr} \end{aligned}$$

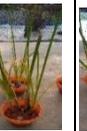
$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{Scirpus grossus} &= \frac{\text{massa } \textit{Scirpus grossus}}{\text{berat basah } \textit{Scirpus grossus}} \\ &= \frac{188,1 \text{ gr}}{45 \text{ gr}} = 4,18 = 4 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{Iris pseudacorus} &= \text{Densitas } \textit{Iris pseudacorus} \times \text{volume media} \\ &= 4,71 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3 \times 3000 \text{ cm}^3 \\ &= 141,3 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{Iris pseudacorus} &= \frac{\text{massa } \textit{Iris pseudacorus}}{\text{berat basah } \textit{Iris pseudacorus}} \\ &= \frac{141,3 \text{ gr}}{49 \text{ gr}} = 2,8 = 3 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

Dari hasil pengamatan selama 7 hari, terlihat bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* mampu hidup dengan baik pada konsentrasi limbah sebesar 20% yang setara dengan 770,92 mg/L COD dan 542 mg/L BOD. Pada konsentrasi 30% sampai 50% *Scirpus grossus* tidak dapat hidup dengan baik, ditandai dengan daun yang layu dan menguning. Tumbuhan *Iris pseudacorus* dapat tumbuh dengan baik pada konsentrasi limbah 30% yang setara dengan 1156,4 mg/L COD dan 813 mg/L BOD dan tumbuhan ini mengalami kematian, layu, dan daun menguning pada konsentrasi 40% sampai 50%. Pengamatan secara fisik pada tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. Konsentrasi yang digunakan adalah konsentrasi paling kecil yang didapatkan dari hasil RFT kedua jenis tumbuhan yakni pada konsentrasi 20%. Hal ini dilakukan supaya tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* masih tetap bisa tumbuh dengan baik.

Tabel 4. 2 Pengamatan fisik *Scirpus grossus*

	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							
10%							
20%							
30%							
40%							
50%							

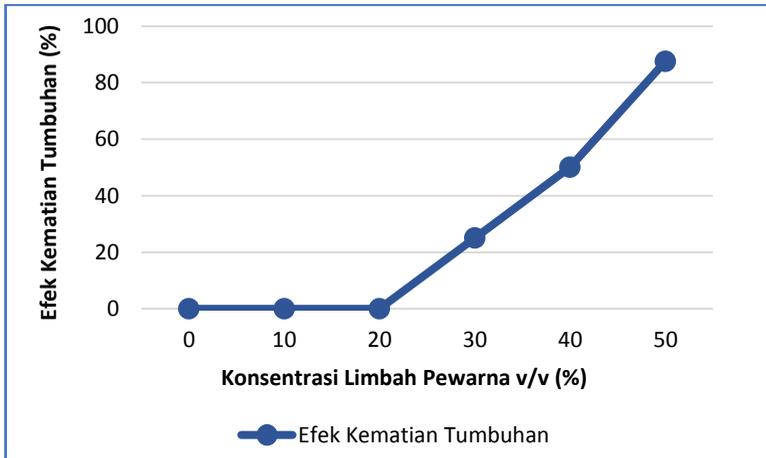
Tabel 4. 3 Pengamatan Fisik *Iris pseudacorus*

	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							
10%							
20%							
30%							
40%							
50%							

Hasil RFT dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5. Respon tumbuhan terhadap berbagai macam konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16

Tabel 4. 4 Hasil Range Finding Test *Scirpus grossus*

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
0	4	4	-	0
10	4	4	-	0
20	4	4	-	0
30	4	3	1	25
40	4	3	2	50
50	4	1,5	3,5	87.5

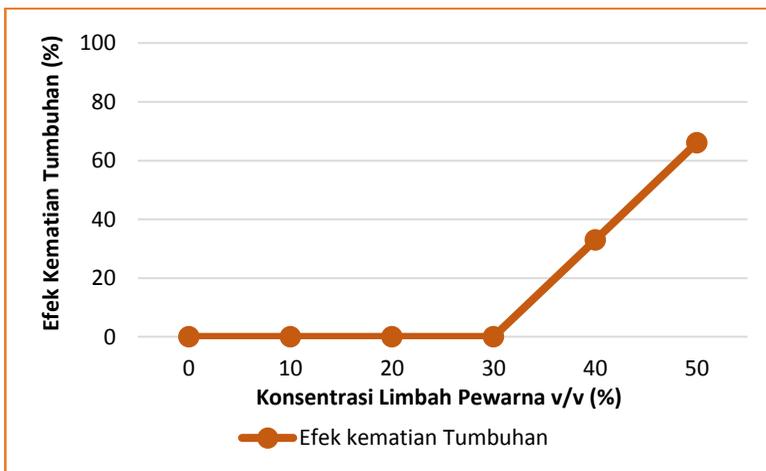


Gambar 4. 15 Efek Kematian Tumbuhan *Scirpus grossus*

Tabel 4. 5 Hasil Range Finding Test *Iris pseudacorus*

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan <i>Iris pseudacorus</i>	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
0	3	3	-	0
10	3	3	-	0

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan <i>Iris pseudacorus</i>	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
20	3	3	-	0
30	3	3	-	-
40	3	2	1	33
50	3	1	2	66



Gambar 4. 16 Efek Kematian Tumbuhan *Iris pseudacorus*

4.5 Uji *Phytotreatment* Limbah Cair Batik

Penelitian utama yaitu tahap uji *phytotreatment* ini adalah dengan sistem pemaparan secara *intermittent*. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang sudah melalui tahap aklimatisasi sebelumnya, supaya tumbuhan sudah beradaptasi dengan kondisi yang akan digunakan dalam uji *phytotreatment*. Konsentrasi limbah yang digunakan adalah konsentrasi limbah hasil RFT yang tidak menimbulkan efek kematian pada tumbuhan. Konsentrasi limbah pewarna yang digunakan yaitu 20% (v/v). Konsentrasi ini merupakan konsentrasi yang tidak menimbulkan efek kematian pada tumbuhan *Scirpus grossus*

maupun *Iris pseudacorus*. Penelitian dilakukan dengan menyiram setiap reaktor yang sudah berisi media kerikil dengan limbah cair pewarnaan batik. Variasi sistem pemaparan secara *intermittent* dilakukan dengan perbandingan siklus *flooding* dan *drying* (F/D). Variasi sistem yang akan digunakan yaitu F/D 1:2 (masa *flooding* selama 1 hari, dan *drying* selama 2 hari), dan F/D 2:1 (masa *flooding* selama 2 hari, dan *drying* selama 1 hari), yang dilakukan selama 18 hari. Adapun variasi tumbuhan yang digunakan yaitu Jenis tumbuhan berupa tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* yang dilakukan dalam kondisi *single plant* (*Scirpus grossus* atau *Iris pseudacorus*) dan kondisi *mixed plant* (*Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*) dengan ratio jumlah tumbuhan 50:50.

Volume air limbah yang digunakan sebanyak 8 Liter, dengan ketinggian media kerikil 15 cm. Parameter yang akan diuji adalah BOD, COD, warna, pH, dan suhu. Waktu pengujian parameter dilakukan saat reaktor memasuki siklus *drying*. Sebelum dilakukan uji *phytotreatment*, dilakukan terlebih dahulu perhitungan kebutuhan tumbuhan menggunakan persamaan beban volume limbah sesuai dengan perhitungan kebutuhan tumbuhan pada uji RFT. Perhitungan dapat dilihat di bawah ini:

- **Reaktor *single plant* (*Scirpus grossus*):**

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Scirpus grossus*:

Volume limbah = 3 Liter

Jumlah tumbuhan = 4 tumbuhan

- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Scirpus grossus*:

Volume limbah = 8 Liter

Jumlah tumbuhan = $\frac{4 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 8 \text{ liter}$

= 10,67 tumbuhan

= 11 tumbuhan

Dari perhitungan tersebut, didapatkan kebutuhan tumbuhan *Scirpus grossus* untuk reaktor *single plant* sebanyak 11 tumbuhan.

- **Reaktor *single plant* (*Iris pseudacorus*):**

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Iris pseudacorus*:

Volume limbah = 3 Liter
 Jumlah tumbuhan = 3 tumbuhan

- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Iris pseudacorus*:

Volume limbah = 8 Liter
 Jumlah tumbuhan = $\frac{3 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 8 \text{ liter}$
 = 8 tumbuhan

Dari perhitungan di atas, didapatkan kebutuhan tumbuhan *Iris pseudacorus* untuk reaktor *single plant* sebanyak 8 tumbuhan.

- **Reaktor *mixed plant* (*Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*):**

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Scirpus grossus*:

Volume limbah = 3 Liter
 Jumlah tumbuhan = 4 tumbuhan

- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Scirpus grossus*:

Volume limbah = $\frac{8 \text{ liter}}{2 \text{ Tumbuhan}} = 4 \text{ Liter}$
 Jumlah tumbuhan = $\frac{4 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 4 \text{ liter}$
 = 5,33 tumbuhan = 6 tumbuhan

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Iris pseudacorus*:

Volume limbah = 3 Liter
 Jumlah tumbuhan = 3 tumbuhan

- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Scirpus grossus*:

Volume limbah = $\frac{8 \text{ liter}}{2 \text{ Tumbuhan}} = 4 \text{ Liter}$
 Jumlah tumbuhan = $\frac{3 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 4 \text{ liter}$
 = 4 tumbuhan

Dari perhitungan di atas, didapatkan kebutuhan tumbuhan untuk reaktor *mixed plant* sebanyak 10 tumbuhan dengan rincian 6 tumbuhan *Scirpus grossus* dan 4 tumbuhan *Iris pseudacorus*.

Setelah dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan tumbuhan, dilakukan juga perhitungan beban yang mampu diterima oleh setiap tumbuhan. Perhitungan ini digunakan untuk

mengetahui kemampuan *uptake* yang mampu dilakukan oleh 1 unit tumbuhan dalam menyerap kontaminan limbah pewarnaan batik. Berikut merupakan perhitungan analisa beban per unit tumbuhan:

a) Tumbuhan *Scirpus grossus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 20%

$$\text{BOD} = 813 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume} = 3 \text{ L}$$

Jumlah tumbuhan digunakan = 4 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 4 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 813 \text{ mg/L} \\ &= 2.439 \text{ mg BOD} \\ &= 2,439 \text{ gr BOD} \end{aligned}$$

Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$= \frac{2,439 \text{ gr}}{4 \times 10,213 \text{ gr}} = 0,06 \text{ gr BOD/gr}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

$$\text{BOD} = 813 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume} = 8 \text{ L}$$

Jumlah tumbuhan digunakan = 11 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 11 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 813 \text{ mg/L} \\ &= 6.504 \text{ mg BOD} \\ &= 6,504 \text{ gr BOD} \end{aligned}$$

Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$= \frac{6,504 \text{ gr}}{11 \times 10,213 \text{ gr}} = 0,06 \text{ gr BOD/gr}$$

Tumbuhan *scirpus grossus* mampu menerima beban limbah pewarnaan sebesar 0,06 gr BOD/gr.

b) Tumbuhan *Iris pseudacorus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 20%

BOD = 813 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 3 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 813 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ &= 2.439 \text{ mg BOD} / 3 \text{ tumbuhan} \\ &= 2,439 \text{ gr BOD} / 3 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$= \frac{2,439 \text{ gr}}{3 \times 5,001 \text{ gr}} = 0,16 \text{ gr BOD} / \text{gr}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui: BOD = 813 mg/L

Volume = 8 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 8 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 8 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 813 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\ &= 6.504 \text{ gr BOD} / 8 \text{ tumbuhan} \\ &= 6,504 \text{ gr BOD} / 8 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$= \frac{6,504 \text{ gr}}{8 \times 5,001 \text{ gr}} = 0,16 \text{ gr BOD} / \text{gr}$$

Tumbuhan *Iris pseudacorus* mampu menerima beban limbah pewarnaan sebesar 0,16 gr BOD/gr.

Selain perhitungan terhadap kebutuhan tumbuhan dan beban yang mampu diterima oleh 1 unit tumbuhan, dilakukan juga perhitungan mengenai perlakuan *feeding* (pemaparan) limbah saat uji *phytotreatment*. Perlakuan ini dilakukan dengan membagi beban hasil dari uji RFT sebanyak *feeding* yang direncanakan. Hal ini dilakukan karena sistem pemaparan *intermittent* dioperasikan dengan beberapa kali *feeding* sesuai dengan variasi pemaparan F/D. Pembagian beban dimaksudkan supaya tumbuhan bisa menerima akumulasi beban sesuai dengan hasil uji RFT dan tidak memberikan efek kematian pada tumbuhan. Berikut ini perhitungan beban yang mampu diterima oleh tumbuhan:

• **Beban pencemar parameter COD (mg/L)**

$$\begin{aligned}
 \text{Volume limbah} &= 8 \text{ Liter} \\
 \text{Konsentrasi COD awal} &= 3.854,6 \text{ mg/L} \\
 \text{Konsentrasi saat 20\%} &= 3.854,6 \text{ mg/L} \times 20\% \\
 &= 770,92 \text{ mg/L} \\
 \text{Beban pencemar saat 20\%} &= \text{volume} \times \text{konsentrasi} \\
 &\quad \text{saat 20\%} \\
 &= 8 \text{ Liter} \times 770,92 \text{ mg/L} \\
 &= 6.167,4 \text{ mg} \\
 \text{Banyak feeding} &= 6 \text{ kali} \\
 \text{Beban setiap feeding} &= \frac{\text{Beban pencemar saat 20\%}}{\text{jumlah feeding}} \\
 &= \frac{6.167,4 \text{ mg}}{6 \text{ kali}} = 1.028 \text{ mg} \\
 \text{Perkiraan konsentrasi per feeding} &= \frac{\text{Beban setiap feeding}}{\text{volume limbah}} \\
 &= \frac{1.028 \text{ mg}}{8 \text{ Liter}} = 128 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

• **Beban pencemar parameter BOD (mg/L)**

$$\begin{aligned}
 \text{Volume limbah} &= 8 \text{ Liter} \\
 \text{Konsentrasi BOD awal} &= 2.710 \text{ mg/L} \\
 \text{Konsentrasi saat 20\%} &= 2.710 \text{ mg/L} \times 20\% \\
 &= 542 \text{ mg/L} \\
 \text{Beban pencemar saat 20\%} &= \text{volume} \times \text{konsentrasi} \\
 &\quad \text{saat 20\%} \\
 &= 8 \text{ Liter} \times 542 \text{ mg/L} \\
 &= 4.336 \text{ mg} \\
 \text{Banyak feeding} &= 6 \text{ kali}
 \end{aligned}$$

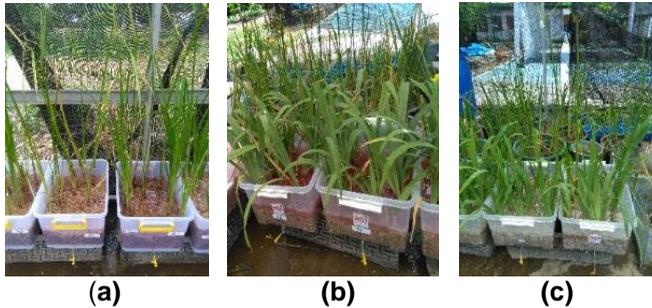
$$\begin{aligned}
 \text{Beban setiap feeding} &= \frac{\text{Beban pencemar saat 20\%}}{\text{jumlah feeding}} \\
 &= \frac{4.336 \text{ mg}}{6 \text{ kali}} = 723 \text{ mg} \\
 \text{Perkiraan konsentrasi per feeding} &= \frac{\text{Beban setiap feeding}}{\text{volume limbah}} \\
 &= \frac{723 \text{ mg}}{8 \text{ Liter}} = 90 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui nilai beban pencemar disetiap *feeding* yang dilakukan selama 6 kali. Dari besar beban pencemar setiap *feeding* dapat diperkirakan besaran konsentrasi COD sebesar 128 mg/L dan perkiraan besar konsentrasi BOD sebesar 90 mg/L. Dari besaran konsentrasi tersebut dibuatlah stok limbah dengan cara pengenceran. Pengenceran menggunakan air PDAM yang sudah diendapkan selama 2 hari untuk mengendapkan kontaminan yang berasal dari air PDAM. Berikut contoh cara perhitungan pengenceran limbah sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan.

Perhitungan contoh stok limbah dapat dihitung berdasarkan konsentrasi COD atau BOD. Berikut contoh yang digunakan adalah berdasarkan pada konsentrasi COD:

- **Konsentrasi limbah sebesar 20%(v/v)**
- Konsetrasi COD (M1) = 770,92 mg/L
- Volume limbah (V1) = 8 Liter
- Konsentrasi COD yang diinginkan = 128 mg/L
- Volume limbah dicari (V2) = $\frac{M1 \times V1}{M2} = \frac{770,92 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 8 \text{ L}}{128 \text{ mg/L}}$
- = 48 Liter
- Banyak *feeding* = 6 kali
- Volume tiap *feeding* = $\frac{V2}{\text{jumlah feeding}}$
- = $\frac{48 \text{ L}}{6 \text{ kali}} = 8 \text{ Liter}$

Dari masing-masing larutan stok limbah yang dibuat, akan dilakukan 6 kali *feeding* dengan volume per *feeding* sebanyak 8 Liter. Dengan demikian total akumulasi beban yang diterima oleh tumbuhan akan sesuai dengan hasil RFT yang sudah dilakukan. Kondisi masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Kondisi reaktor
(a) Single plant *Scirpus grossus* (b) Single plant *Iris pseudacorus*
(c) Mixed plant

4.5.1 Analisa Parameter COD

COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Metode Uji yang digunakan yaitu metode refluks tertutup sesuai dengan SNI 6989.73:2009. Pengambilan sampel dilakukan saat setiap reaktor memasuki masa *drying* sesuai dengan variasi F/D. Reaktor dengan F/D 1:2 memasuki masa *drying* dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke- 2, 5, 8, 11, 14, dan 17. Reaktor dengan F/D 2:1 memasuki masa *drying* dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke- 3, 6, 9, 12, 15, dan 18. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saluran *effluent* reaktor. Berikut hasil analisa COD pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Removal COD setiap Reaktor

Reaktor	<i>Drying ke-1</i>		<i>Drying ke-2</i>		<i>Drying ke-3</i>	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	130	35%	126	40%	131	63%
A2	129	36%	125	45%	130	80%
A3	128	33%	126	63%	128	80%
B1	130	20%	126	36%	128	62%

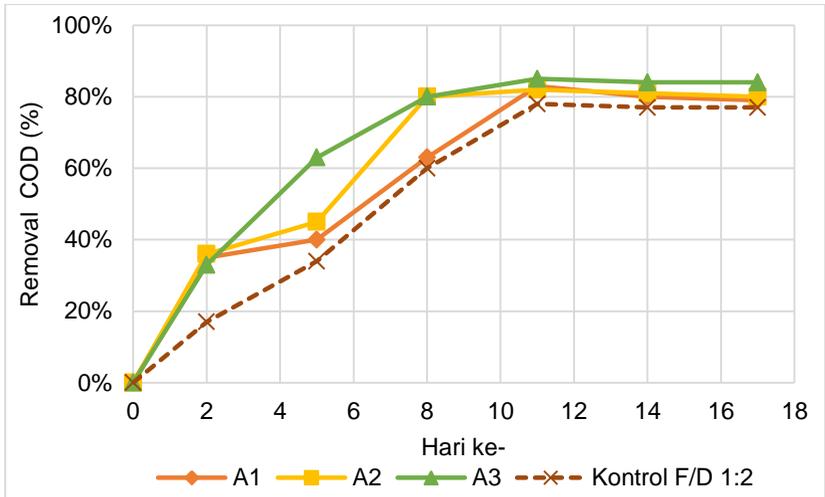
Reaktor	Drying ke-1		Drying ke-2		Drying ke-3	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
B2	130	25%	130	43%	128	65%
B3	128	33%	129	65%	127	67%
K1 Limbah	128	17%	127	34%	128	60%
K2 Limbah	127	19%	129	35%	127	58%

Lanjutan Tabel 4.6

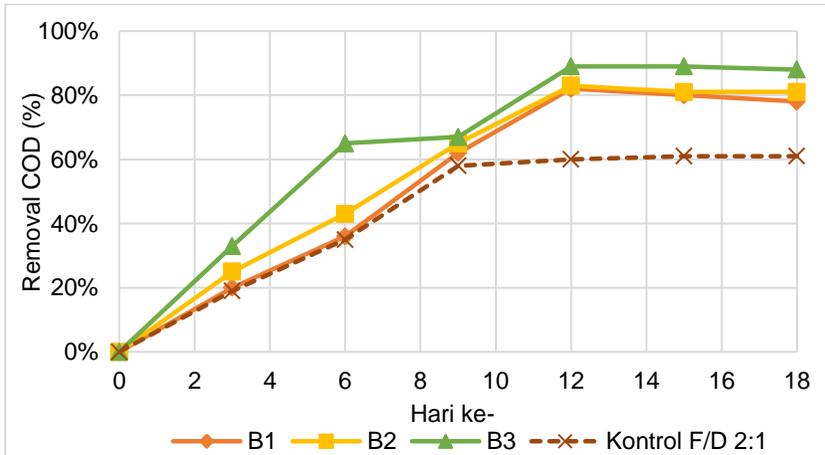
Reaktor	Drying ke-4		Drying ke-5		Drying ke-6	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	128	83%	131	80%	125	79%
A2	127	82%	130	81%	127	80%
A3	130	85%	127	84%	132	84%
B1	129	82%	131	80%	128	78%
B2	127	83%	126	81%	127	81%
B3	128	89%	127	89%	131	88%
K1 Limbah	130	78%	126	77%	131	77%
K2 Limbah	129	60%	129	61%	130	61%

Tren hasil uji removal COD pada setiap reaktor lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.18 untuk reaktor F/D 1:2 dan Gambar 4.19 untuk reaktor 2:1.

Dari data analisa yang didapatkan, terlihat bahwa removal COD mulai meningkat dari hari ke- 2 sampai hari ke- 10 baik terjadi pada reaktor F/D 1:2 maupun pada reaktor F/D 2:1. Pada hari ke- 12 dan 15 tidak terjadi kenaikan secara signifikan terhadap removal COD dengan nilai efisiensi rata-rata 80% pada reaktor F/D 1:2 dan F/D 2:1.



Gambar 4. 18 Removal COD limbah pewarnaan pada F/D 1:2



Gambar 4. 19 Removal COD limbah pewarnaan pada F/D 2:1

Pada reaktor F/D 1:2 dan F/D 2:1 efisiensi removal pada masing-masing variasi *single plant* maupun *mixed plant* cenderung lebih meningkat dan lebih besar dari pada kontrol di

hari pengamatan ke- 0 sampai ke-14. Penyisihan paling besar pada air limbah pewarnaan terjadi pada hari ke- 11 untuk reaktor F/D 1:2 dan hari ke-12 untuk reaktor F/D 2:1 (masing-masing pada *feeding* limbah ke 4). Pada reaktor *single plant Scirpus grossus* menunjukkan nilai removal 83% pada pemaparan F/D 1:2, 82% pada pemaparan F/D 2:1. Pada reaktor *single plant Iris pseudacorus* menunjukkan nilai removal 82% pada pemaparan F/D 1:2, 83% pada pemaparan F/D 2:1. Pada reaktor *mixed plant* menunjukkan nilai removal 85% pada pemaparan F/D 1:2, 89% pada pemaparan 2:1. Reaktor kontrol menunjukkan efisiensi removal sebesar 78% pada reaktor F/D 1:2 dan 60% pada reaktor F/D 2:1. Nilai removal tertinggi dimiliki oleh reaktor *mixed plant*. Hal ini disebabkan karena terjadinya hubungan sinergi antar spesies tumbuhan dalam menurunkan zat organik dalam reaktor *phytotreatment*, sehingga menyebabkan konsentrasi COD dalam reaktor tersebut mengalami penurunan. Hubungan sinergi antar tumbuhan ini ditunjukkan pada kenaikan berat kering pada masing-masing reaktor (Pembahasan dapat dilihat pada sub bab 4.5.6 mengenai pembahasan analisa morfologi tumbuhan pada berat basah dan berat kering).

Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada reaktor uji *phytotreatment* adalah filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan adsorpsi bahan organik oleh akar-akar tumbuhan (Novotny dan Olem, 1994). Kenaikan nilai removal COD semakin hari semakin meningkat. Hal ini terjadi karena proses degradasi akan mulai efektif ketika mikroorganisme di dalam zona akar sudah mulai tumbuh dalam jumlah yang banyak. Kenaikan removal pada reaktor uji terjadi karena penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada akar tumbuhan kemudian dimanfaatkan tumbuhan untuk fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO₂ dan H₂O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas bantuan sinar matahari. Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Tumbuhan mempunyai

peranan dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khatuddin, 2003). Mikroorganisme perombak bahan organik merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Kenaikan nilai removal tertinggi dimiliki oleh reaktor dengan sistem pemaparan *intermittent* F/D 2:1. Penerapan siklus *flooding* selama 2 hari memberikan waktu kontak limbah terhadap sistem pengolahan lebih lama dari pada penerapan siklus *flooding* 1 hari. Penurunan parameter limbah sangat bergantung pada aktivitas organisme dan kemampuan tumbuhan dalam menyerap unsur hara, oleh karena itu semakin lama waktu pemaparan maka semakin besar materi organik yang tereliminasi melalui mekanisme biodegradasi (Dhamayanthie, 2000). Siklus *drying* memungkinkan udara untuk mengisi pori-pori substrat, sehingga transfer oksigen dari atmosfer ke sistem berlangsung lebih cepat (Prochaska dan Zouboulis, 2006). Pada siklus *drying* juga akan memberikan kesempatan pada tumbuhan untuk dapat memulihkan kondisinya dari paparan limbah. Difusi oksigen akan berlangsung sangat cepat dan masuk ke dalam akar maupun biofilm yang terbentuk (Behrends *et al.*, 2000). Keadaan ini membantu proses dekomposisi kontaminan secara aerobik (Kadlec dan Wallace, 2009).

Pada reaktor kontrol yang berisi media kerikil dan limbah pewarnaan tanpa tumbuhan juga mengalami kenaikan nilai removal COD. Meskipun nilai removal COD masih berada dibawah nilai removal COD pada masing-masing reaktor uji *phytotreatment*. Kenaikan nilai removal COD pada reaktor kontrol terjadi karena adanya pengaruh mikroorganisme yang tumbuh pada media kerikil. Media berperan sebagai tempat menempelnya mikroorganisme sehingga memperluas permukaan

sistem lahan basah buatan. Dhamayanthie (2000) menyatakan bahwa perpanjangan waktu pemaparan akan menghasilkan penyisihan organik yang lebih baik karena kontak antara mikroorganisme dengan limbah berlangsung cukup lama.

4.5.2 Analisa Parameter BOD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf & Eddy, 1991). BOD₅ adalah banyaknya oksigen (mg) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan organik dalam satu liter air limbah selama pengeringan (5×24 jam pada suhu 20°C). Jadi, BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroba untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan pencemar yang terdapat di dalam suatu perairan (Efendi, 2003).

Metode uji yang digunakan sesuai dengan SNI 6989.72:2009. Sama halnya seperti analisa COD, Pengambilan sampel analisa BOD dilakukan saat setiap reaktor memasuki masa *drying* sesuai dengan variasi F/D. Reaktor F/D 1:2 memasuki masa *drying* dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke- 2, 5, 8, 11, 14, dan 17. Reaktor F/D 2:1 memasuki masa *drying* dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke- 3, 6, 9, 12, 15, dan 18. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saluran *effluent* reaktor.

Dari data analisa yang didapatkan, terlihat bahwa removal BOD mulai meningkat dari hari ke- 2 sampai hari ke- 10 baik terjadi pada reaktor F/D 1:2 maupun pada reaktor F/D 2:1. Pada hari ke- 12 dan 15 tidak terjadi kenaikan secara signifikan terhadap removal BOD dengan nilai efisiensi sebesar rata-rata 90% pada reaktor F/D 1:2 dan F/D 2:1. Berikut hasil analisa COD pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tren hasil uji removal BOD pada setiap reaktor lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.20 untuk reaktor dengan pemaparan F/D 1:2 dan Gambar 4.21 untuk reaktor dengan pemaparan F/D 2:1.

Tabel 4. 7 Removal BOD setiap Reaktor

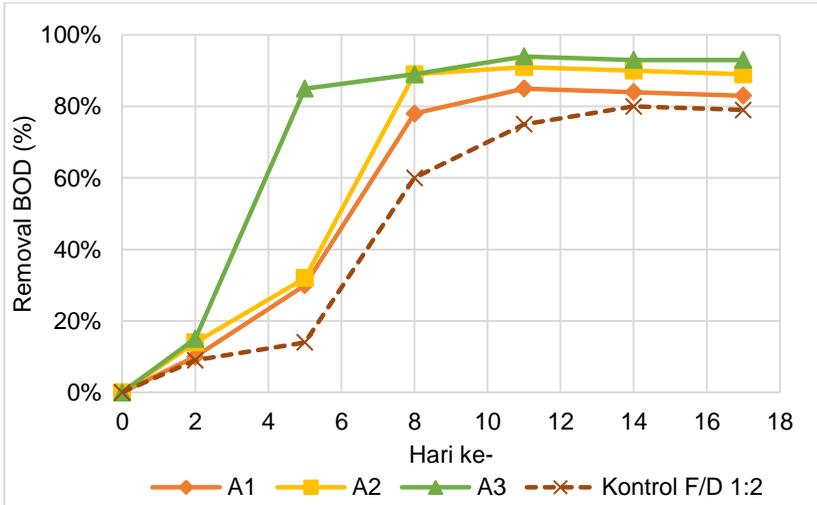
Reaktor	Drying ke-1		Drying ke-2		Drying ke-3	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	89	10%	90	30%	91	78%
A2	88	14%	87	32%	89	89%
A3	86	15%	94	85%	93	89%
B1	92	14%	84	27%	87	68%
B2	90	15%	91	40%	90	87%
B3	84	20%	90	87%	93	90%
K1 Limbah	90	9%	91	14%	85	60%
K2 Limbah	85	13%	93	25%	92	65%

Lanjutan Tabel 4.7

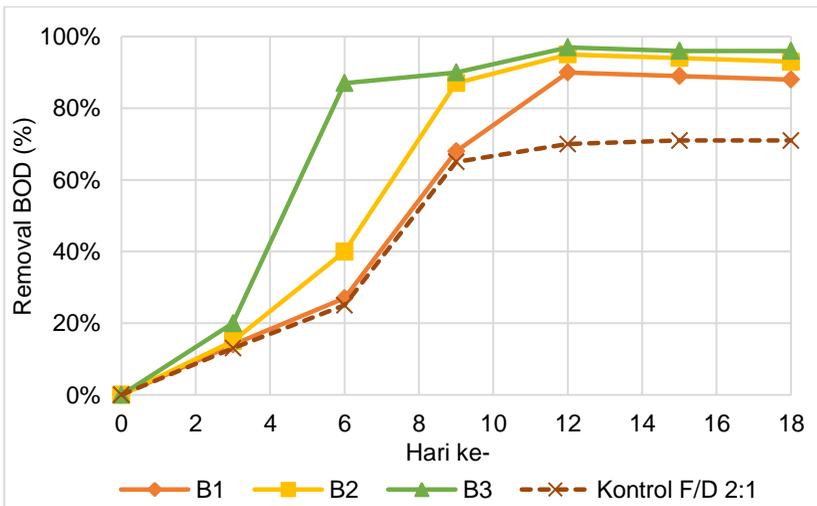
Reaktor	Drying ke-4		Drying ke-5		Drying ke-6	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	90	85%	92	84%	91	83%
A2	88	91%	87	90%	89	89%
A3	87	94%	91	93%	92	93%
B1	92	90%	91	89%	95	88%
B2	91	95%	89	94%	91	93%
B3	89	97%	92	96%	95	96%
K1 Limbah	87	75%	93	80%	95	79%
K2 Limbah	86	70%	91	71%	95	71%

Pada reaktor F/D 1:2 efisiensi removal pada masing-masing variasi *single plant* maupun *mixed plant* cenderung lebih meningkat dan lebih besar dari pada kontrol dihari pengamatan ke- 0 sampai ke-14. Penyisihan paling besar pada air limbah pewarnaan terjadi pada hari ke- 11 untuk reaktor F/D 1:2 dan hari

ke-12 untuk reaktor F/D 2:1 (masing-masing pada *feeding* limbah ke 4).



Gambar 4. 20 Removal BOD limbah pewarnaan pada F/D 1:2



Gambar 4. 21 Removal BOD limbah pewarnaan pada F/D 2:1

Pada reaktor *single plant Scirpus grossus* menunjukkan nilai removal 85% pada pemaparan F/D 1:2, 90% pada pemaparan F/D 2:1. Pada reaktor *single plant Iris pseudacorus* menunjukkan nilai removal 91% pada pemaparan F/D 1:2, 95% pada pemaparan F/D 2:1. Pada reaktor *mixed plant* menunjukkan nilai removal 94% pada pemaparan F/D 1:2, 97% pada pemaparan 2:1. Reaktor kontrol menunjukkan efisiensi removal sebesar 75% pada reaktor F/D 1:2 dan 70% pada reaktor F/D 2:1. Nilai removal tertinggi dimiliki oleh reaktor *mixed plant* F/D 2:1. Kenaikan nilai removal *mixed plant* dimulai dari pengamatan hari ke- 4. Hal ini disebabkan karena terjadinya hubungan sinergi antar spesies tumbuhan dalam menurunkan zat organik dalam reaktor *phytotreatment*, sehingga menyebabkan konsentrasi BOD dalam reaktor tersebut mengalami penurunan. Hubungan sinergi antar tumbuhan ini ditunjukkan pada kenaikan berat kering pada masing-masing reaktor (Pembahasan dapat dilihat pada sub bab 4.5.6 mengenai pembahasan analisa morfologi tumbuhan pada berat basah dan berat kering).

Dalam BOD terdapat senyawa organik yang mudah terurai yang dinyatakan dalam nilai BOD serta terdapat pula yang sulit terurai. Senyawa organik mudah terurai yang diasosiasikan dengan padatan tersuspensi yang dapat mengendap lebih banyak daripada yang dapat terlarut. Hal ini karena 80% dari BOD terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi, padatan tersuspensi dapat dibagi menjadi padatan yang dapat mengendap dan yang tidak dapat mengendap (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Pada umumnya 60% dari padatan tersuspensi dalam air limbah domestik adalah padatan yang dapat mengendap (Metcalf and Eddy, 2003). Proses penurunan BOD₅ ini terjadi melalui proses fisik dan biologis. Removal fisik dari BOD₅ terjadi melalui proses pengendapan dan penangkapan material partikulat di ruang hampa pada media kerikil. BOD₅ terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada permukaan media dan menempel pada akar tumbuhan serta penetrasi rhizoma pada bed (reed, 1993). Senyawa organik yang terkandung di dalam limbah pewarnaan menjadi sumber nutrisi

bagi mikroba yang selanjutnya diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Melalui *phytotreatment*, proses penurunan pencemar dalam limbah menggunakan tumbuhan merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut (Hayati, 1992).

Kenaikan removal terjadi pada hampir pada setiap reaktor. Hal ini menunjukkan tumbuhan uji mempunyai peran yang baik dalam mendukung laju penyerapan unsur hara yang ada. Sehingga semakin tinggi aktivitas fotosintesis akan berakibat semakin tinggi pula oksigen terlarut yang dihasilkan yang akan memicu kinerja mikroorganisme dalam meremoval senyawa organik yang ada. Beberapa hal yang dapat menjelaskan terjadinya penurunan berbagai parameter uji menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), adalah karena adanya mekanisme aktivitas mikroorganisme dan tumbuhan, proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh disekitar *rhizosphere* tumbuhan maupun kehadiran bakteri heterotrof di dalam air limbah mampu menurunkan konsentrasi bahan organik dalam sistem tersebut.

Pada reaktor kontrol yang berisi media kerikil dan limbah pewarnaan tanpa tumbuhan juga mengalami kenaikan nilai removal BOD. Meskipun nilai removal BOD masih berada dibawah nilai removal BOD pada masing-masing reaktor uji *phytotreatment*. Kenaikan nilai removal BOD pada reaktor kontrol terjadi karena adanya mikroorganisme yang tumbuh pada media kerikil dan berperan dalam mendegradasi polutan.

Jumlah bahan organik yang dirombak oleh mikroorganisme berbanding lurus dengan pertumbuhan mikroorganisme pengurai. Semakin lama waktu pemaparan maka proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme dapat dilakukan secara sempurna. Melalui proses filtrasi, penguraian dan penyerapan, bahan-bahan organik sebagian akan mengalami bentuk yang lebih sederhana sementara yang lain akan diserap oleh tumbuhan. Tumbuhan memegang peranan dalam penyediaan oksigen yang secara prinsip terjadi karena adanya proses fotosintesis. Oksigen akan mengalir ke akar tumbuhan melalui batang setelah berdifusi melalui pori-pori daun sehingga

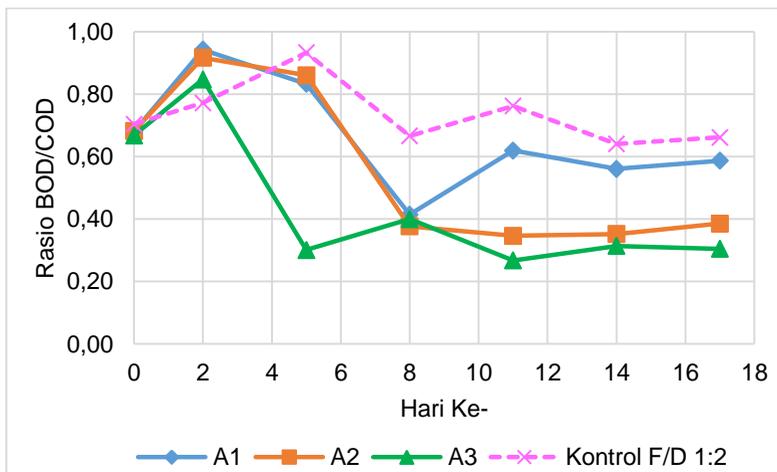
akan terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan akar (Suprihatin, 2014). Pelepasan oksigen oleh akar tumbuhan air menyebabkan air atau media di sekitar rambut akar memiliki oksigen terlarut yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan menjadi mikro habitat untuk mikroorganisme aerob melakukan aktivitas penguraian. Hal ini terlihat dengan adanya efisiensi penurunan parameter organik.

Kenaikan nilai removal tertinggi dimiliki oleh reaktor dengan sistem pemaparan *intermittent* F/D 2:1. Selain pengaruh lamanya kontak limbah dan peran tumbuhan maupun media, sistem pemaparan *intermittent* dengan penerapan siklus *flood and drain* juga berpengaruh. Kemampuan tumbuhan dalam menyerap bahan organik semakin lama akan semakin meningkat karena melalui siklus *drying* memberikan kesempatan kepada tumbuhan untuk bisa memulihkan kemampuannya dalam menyerap kontaminan. Meskipun kemampuan tumbuhan tidak dapat pulih seperti sebelum terpapar limbah. Masuknya oksigen ke dalam pori-pori media dapat membantu penguraian zat organik secara aerob (Kadlec dan Wallace, 2009). Melalui pemaparan F/D 2:1 membantu dalam hal penyediaan kebutuhan oksigen sehingga memungkinkan tumbuhnya mikroorganisme aerob dalam zona akar yang melakukan aktivitas penguraian. Ketersediaan oksigen yang cukup pada reaktor uji menjadikan aktivitas mikroorganisme berjalan dengan baik untuk mengolah limbah. Oksigen merupakan unsur hara yang penting untuk proses metabolisme pada tumbuhan.

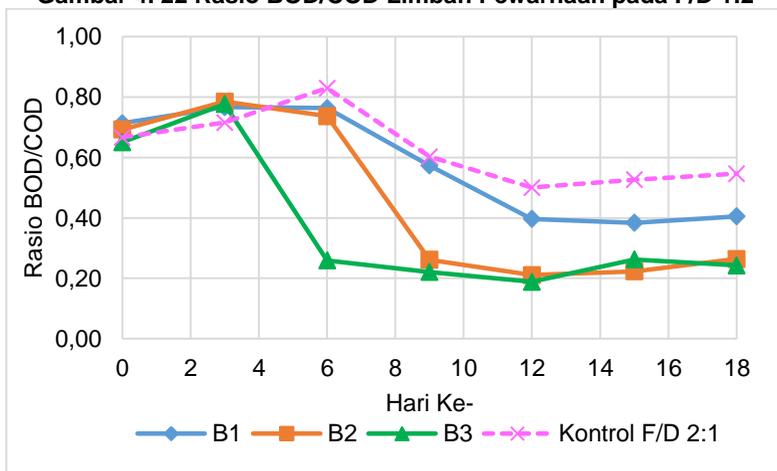
4.5.3 Analisa Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD merupakan indikator yang umum digunakan pada derajat biodegradasi air limbah. Rasio BOD/COD yang tinggi cukup dipertimbangkan untuk memastikan biodegradasi. Tingkatan mutu zat organik berbasis proses mikrobial adalah sejalan dengan pengukuran zat organik air limbah melalui pengukuran kebutuhan oksigen mikrobial (BOD) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD). Tingkat penurunan oleh mikroba dapat dievaluasi dengan rata-rata hasil bagi biodegradabilitas yang terukur sebagai rasio BOD/COD. Berdasarkan Mangkoedihardjo dan Samudro 2010, air limbah

yang memiliki rasio BOD/COD lebih dari 0,1 maka air limbah tersebut memiliki sifat *biodegradable*. Hasil analisa terhadap rasio BOD/COD dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23



Gambar 4. 22 Rasio BOD/COD Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2



Gambar 4. 23 Rasio BOD/COD Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1

Rasio BOD/COD limbah tersebut berada diantara 0,2 – 0,9. Hal ini menandakan bahwa limbah pewarna bersifat

biodegradable. Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) menyatakan bahwa air limbah yang memiliki rasio BOD/COD di atas 0,1 maka air limbah tersebut bersifat *biodegradable*. Adanya kenaikan dan penurunan rasio BOD/COD merupakan hasil dari pengadaptasian tumbuhan terhadap bahan pencemar. Berdasarkan Papadopoulos *et al.*, 2001 bahwa rasio BOD/COD pada limbah harus lebih besar dari 0,6 supaya limbah dapat diolah dengan reaktor lahan basah buatan.

Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 rasio BOD/COD mengalami kenaikan pada pengamatan hari ke- 0 sampai hari ke- 6. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rentang hari tersebut merupakan zona biodegradasi dimana bahan pencemar dapat diuraikan oleh mikroorganisme, sehingga terbukti terjadi kenaikan removal BOD yang menyebabkan penurunan konsentrasi BOD pada rentang waktu tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21. Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) menyatakan bahwa tumbuhan mengeluarkan eksudat melalui akar yang mengandung asam organik, fenol, enzim, dan protein yang semuanya mudah terurai secara mikrobial. Suatu campuran limbah organik dengan rasio BOD/COD kecil dan eksudat dengan rasio BOD/COD tinggi dapat menghasilkan limbah organik mudah terurai secara mikrobial. Peningkatan rasio BOD/COD menunjukkan bahwa keberadaan mikroba pada masing-masing reaktor turut berperan dalam menurunkan konsentrasi pencemar selama uji *phytotreatment*.

Sedangkan pada hari pengamatan hari ke- 8 sampai hari ke- 18 rasio BOD/COD turun dan lebih stabil namun masih berada pada rentang sifat *biodegradable*. Keadaan ini menandakan bahwa air limbah dalam reaktor berada pada kondisi stabil. Keadaan ini sesuai dengan nilai removal BOD yang relatif stabil pada pengamatan hari ke- 8 sampai hari ke-18. Turunnya rasio BOD/COD karena terdapat pemanfaat hasil penguraian zat organik dalam limbah pewarnaan batik oleh tumbuhan. Hal ini membuktikan adanya simbiosis mutualisme antara tumbuhan dan mikroorganisme pengurai bahan organik di dalam zona akar.

4.5.4 Analisa Warna

Warna air limbah menunjukkan kualitasnya seperti pada warna limbah batik berwarna merah tua dan kelamaan akan berwarna gelap, hal ini menunjukkan bahwa warna limbah batik sangat pekat. Analisa warna dilakukan pada setiap reaktor saat memasuki siklus *drying*.

Sebelum melakukan analisa terhadap warna terlebih dahulu membuat kalibrasi warna untuk menentukan panjang gelombang optimum pada spektrofotometri yang digunakan saat pembacaan larutan. Rentang panjang gelombang yang digunakan untuk warna merah adalah antara 500 nm – 600 nm (APHA, 2005). Berdasarkan grafik kalibrasi warna diketahui bahwa panjang gelombang optimum yaitu 521 A yang nantinya akan digunakan untuk pengukuran analisa warna. Data hasil kalibrasi warna dapat dilihat pada Gambar LA.1.

Setelah mendapatkan panjang gelombang optimum, dibuat kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi larutan pada saat penelitian. Hasil regresi dapat dilihat pada Gambar LA.2.

Panjang gelombang optimum dan regresi warna sudah didapatkan, kemudian melakukan analisa warna disetiap reaktor. Berikut hasil analisa warna pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.8

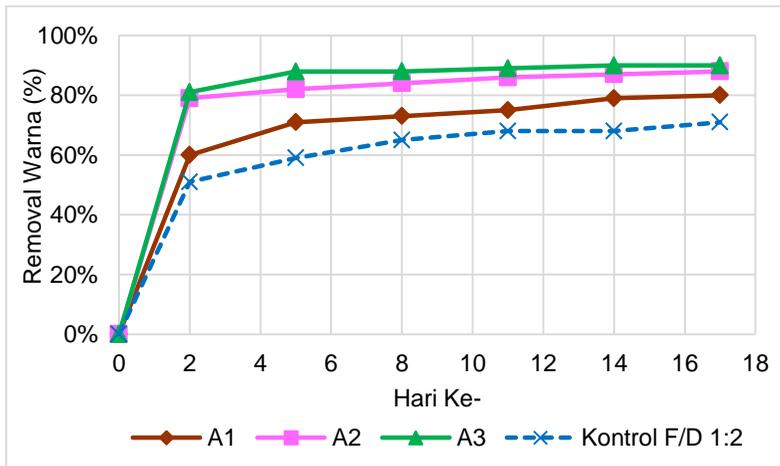
Tabel 4. 8 Removal Warna setiap Reaktor

Reaktor	<i>Drying ke-1</i>		<i>Drying ke-2</i>		<i>Drying ke-3</i>	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	43,509	60%	43,873	71%	42,964	73%
A2	43,327	79%	43,691	82%	43,327	84%
A3	43,327	81%	43,509	88%	43,509	88%
B1	43,145	64%	43,691	72%	43,873	74%
B2	43,327	83%	43,327	86%	43,691	88%
B3	43,691	87%	42,964	90%	42,964	92%
K1 Limbah	43,509	51%	43,691	59%	43,509	65%
K2 Limbah	43,145	56%	43,327	63%	43,873	69%

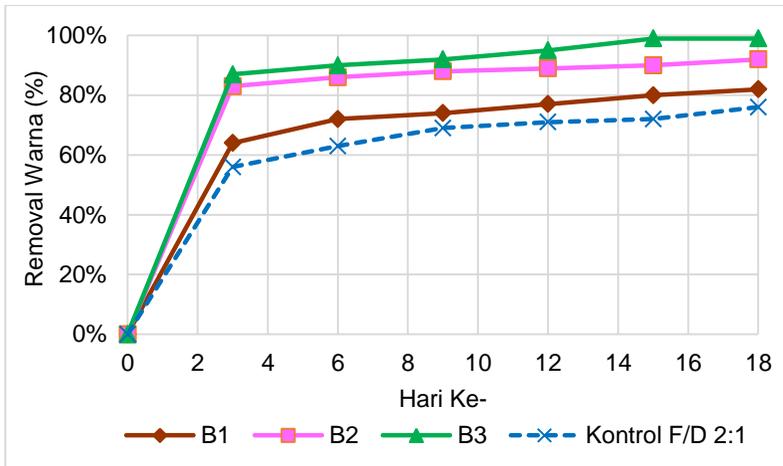
Lanjutan Tabel 4.8

Reaktor	Drying ke-4		Drying ke-5		Drying ke-6	
	mg/L	% removal	mg/L	% removal	mg/L	% removal
A1	43,691	75%	43,509	79%	43,873	80%
A2	43,509	86%	42,964	87%	43,509	88%
A3	43,327	89%	43,145	90%	43,327	90%
B1	43,509	77%	43,873	80%	43,509	82%
B2	43,145	89%	43,691	90%	43,145	92%
B3	43,873	95%	43,509	99%	43,145	99%
K1 Limbah	43,145	68%	42,964	68%	43,691	71%
K2 Limbah	43,691	71%	43,509	72%	43,327	76%

Tren hasil uji removal warna pada setiap reaktor lebih jelasnya dapat dilihat pada setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.24 untuk reaktor dengan F/D 1:2 dan Gambar 4.25 untuk reaktor dengan F/D 2:1



Gambar 4. 24 Removal Warna pada Reaktor F/D 1:2



Gambar 4. 25 Removal Warna pada Reaktor F/D 2:1

Pada gambar 4.24 dan Gambar 4.25 terlihat bahwa komposisi tumbuhan *single* atau *mixed plant* dan sistem paparan *intermittent* memiliki pengaruh terhadap penurunan warna pada limbah cair batik. Penurunan warna pada reaktor *single plant scirpus grossus* mencapai 80% dipaparan *intermittent* F/D 1:2 dan mencapai 82% dipaparan *intermittent* F/D 2:1. Penurunan warna pada reaktor *single plant Iris pseudacorus* mencapai 88% dipaparan *intermittent* F/D 1:2 dan mencapai 92% dipaparan *intermittent* F/D 2:1. Penurunan warna pada reaktor *mixed plant* mencapai 90% dipaparan *intermittent* F/D 1:2 dan mencapai 99% dipaparan *intermittent* F/D 2:1. Pada reaktor kontrol juga menunjukkan efisiensi penyisihan sebesar 71% pada reaktor dengan paparan *intermittent* F/D 1:2 dan 76% reaktor dengan paparan *intermittent* F/D 2:1.

Removal warna tertinggi terjadi pada reaktor *mixed plant* dengan sistem paparan *intermittent* F/D 2:1. Hal ini dikarenakan pada kombinasi kedua tumbuhan tersebut terjadi hubungan sinergi antar tumbuhan yang berbeda spesies untuk memperoleh hara sehingga masing-masing tumbuhan mengalami

pertumbuhan yang pesat dalam satu media (Herjanto, 2008). Hubungan sinergi antar tumbuhan ini ditunjukkan pada kenaikan berat kering pada masing-masing reaktor (Pembahasan dapat dilihat pada sub bab 4.5.6 mengenai pembahasan analisa morfologi tumbuhan pada berat basah dan berat kering).

Selain dipengaruhi oleh jenis tumbuhan, hal ini juga dikarenakan faktor kontak yang lebih lama antara limbah dalam reaktor uji *phytotreatment*. Berdasarkan penelitian Wahyu dkk. (2015), penurunan warna menggunakan eceng gondok mencapai 93,15% dengan waktu kontak yang lebih lama daripada jenis reaktor yang lain. Kenaikan nilai removal warna ini menggambarkan terjadi proses penguraian oleh mikroorganisme yang terjadi di zona akar atau yang lebih dikenal dengan istilah rizodegradasi (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Kenaikan removal zat warna ini juga menandakan bahwa limbah pewarnaan batik mengandung banyak zat organik. Berdasarkan Carliell *et al.* (1995), zat warna dapat direduksi dan dapat dipecah rantai ikatannya dengan bantuan mikroorganisme pengurai. Proses awal yang terjadi yaitu mendegradasi senyawa rantai panjang penyusun zat warna menjadi rantai pendek yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi tumbuhan untuk sintesis komponen-komponen penyusun sel baru.

Warna air limbah dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna sejati disebabkan oleh warna organik yang mudah larut serta beberapa ion logam. Sedangkan warna semu disebabkan oleh air yang mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dari warna sejati serta karena adanya bahan-bahan tersuspensi termasuk koloid (Yulianto dkk, 2009). Dalam industri batik ini zat warna yang digunakan adalah naphthol, soda api, asam, dan zat pembasah. Berdasarkan Lestari dan Agung (2013), zat warna naphthol merupakan jenis zat warna semu sedangkan soda api, asam, dan zat pembasah merupakan jenis zat warna sejati.

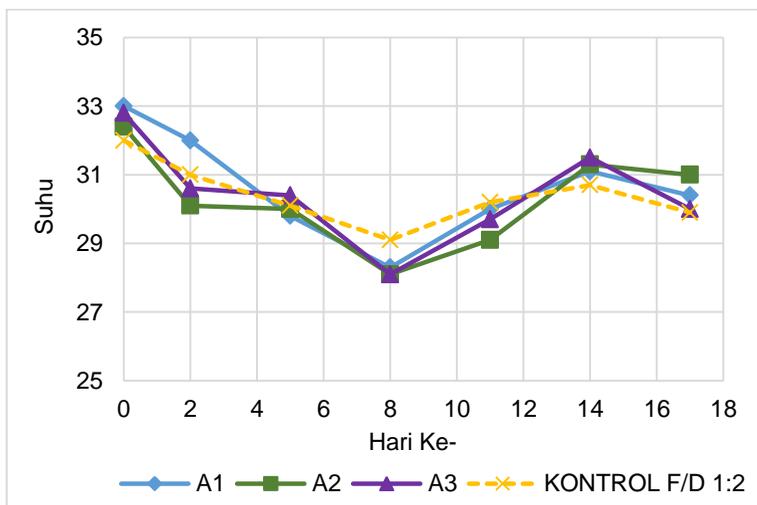
Pengurain warna sejati pada zat warna soda api, asam, dan zat pembasah melalui proses dekomposisi zat organik oleh mikroorganisme pada tumbuhan. Proses yang terjadi yakni

filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan adsorpsi bahan organik oleh akar-akar tumbuhan (Novotny dan Olem, 1994).

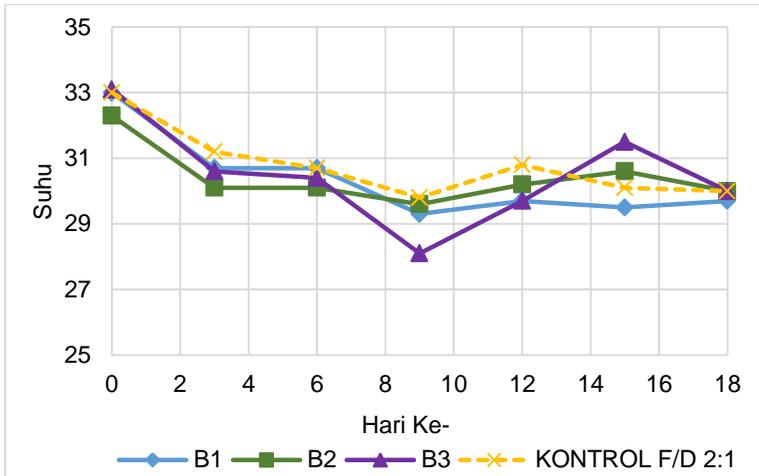
Penguraian warna semu pada zat warna naphthol disebabkan karena zat warna ini mengandung $C_{10}H_8O$. Setelah mengalami proses *phytotreatment*, terjadi reaksi kimia penurunan 1-amino-2 naphthol menghasilkan CO_2 dan H_2O yang dapat digunakan dalam proses fotosintesis (Wahyu dkk, 2015).

4.5.5 Analisa Suhu dan pH

Pengukuran suhu dan pH dilakukan pada reaktor yang akan memasuki masa *drying*, sama halnya seperti analisa pada BOD, COD, dan warna. Suhu dan pH diukur menggunakan *thermometer portable* yang langsung digunakan di dalam reaktor uji. Suhu dan pH diamati sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.



Gambar 4. 26 Suhu Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2

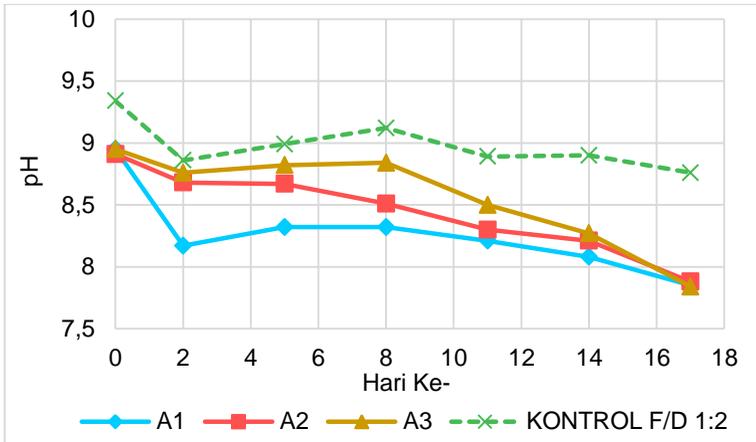


Gambar 4. 27 Suhu Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1

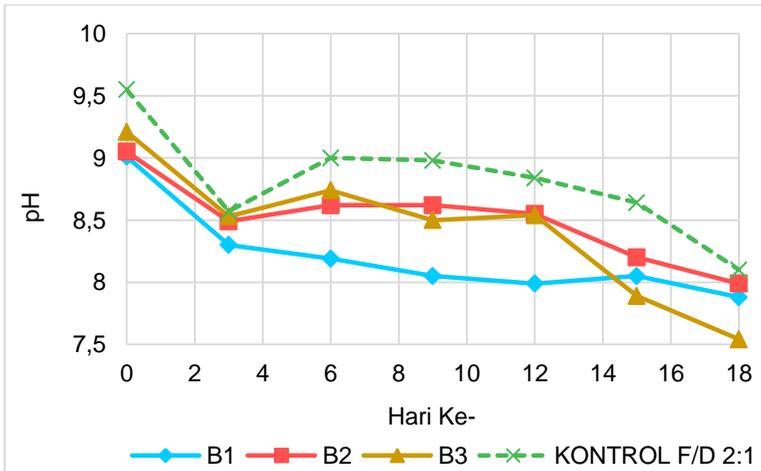
Suhu merupakan derajat atau tingkat panas. Pengukuran suhu bertujuan untuk mengetahui suhu dari limbah pewarnaan pada setiap reaktor. Suhu mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses pertukaran zat (metabolisme) pada makhluk hidup. (Permana, 2003).

Pada penelitian uji *phytotreatment*, faktor lingkungan suhu semua reaktor berkisar 31°C - 33°C . Reaktor diletakkan dalam *green house* di luar laboratorium, hal ini mempengaruhi cahaya matahari yang mengakibatkan tingginya suhu setiap reaktor. Pemasangan paranet dilakukan supaya matahari tidak mengenai tumbuhan secara langsung. Fluktuasi suhu ini dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan di lokasi uji *phytotreatment*. Suhu udara berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan karena adanya proses metabolisme tubuh tumbuhan. Pengukuran suhu dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu pada air limbah yang diolah. Semakin tinggi suhu maka kadar oksigen akan semakin berkurang (Caroline dan Moa, 2015) yang akan menyebabkan penurunan removal COD dan BOD. Berdasarkan Sutherland (1990), *Iris pseudacorus* dapat tumbuh dengan baik pada suhu

20 °C - 35 °C dan berdasarkan Tangahu *et al* (2013), *Scirpus grossus* dapat tumbuh dengan baik pada suhu 25 °C - 33°C. Hasil pengukuran suhu yang dilakukan masih berada dalam rentang suhu tumbuhan *Scirpus grossus* ataupun *Iris pseducaorus* sehingga tumbuhan dapat tumbuh dengan baik.



Gambar 4. 28 pH Limbah Pewarnaan pada F/D 1:2



Gambar 4. 29 pH Limbah Pewarnaan pada F/D 2:1

Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- pada limbah. Semakin tinggi ion H^+ menandakan bahwa limbah tersebut bersifat asam. Semakin tinggi ion OH^- menandakan bahwa limbah tersebut bersifat basa.

Hasil analisa pH menunjukkan bahwa pH pada air limbah berfluktuasi pada kisaran 7,5 – 9,6. Semakin lama waktu pemaparan, pH masing-masing reaktor menuju ke arah netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dapat mempengaruhi nilai pH air yang diolah menjadi lebih rendah. keadaan ini juga dapat mengindikasikan bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* merupakan jenis tumbuhan yang mengeluarkan ion H^+ . Sedangkan proses respirasi tumbuhan menghasilkan CO_2 yang dapat menaikkan nilai pH. Hal ini terjadi karena CO_2 yang dikeluarkan tumbuhan dari hasil respirasi dimanfaatkan kembali untuk proses fotosintesis sehingga akan menggeser keseimbangan ke arah kanan yang berarti ada pengurangan ion H^+ (asam) pada limbah cair pewarnaan. Semakin lama konsentrasi BOD dan COD semakin menurun dan mendekati stabil, maka pH menjadi turun dan mendekati netral. pH air sangat memengaruhi proses biokimiawi dalam air. Kenaikan pH disebabkan adanya proses fotosintesis, denitrifikasi, pemecahan nitrogen organik dan reduksi sulfat (Kholidiyah, 2010).

Selain itu nilai pH dipengaruhi oleh suhu. Pada pH asam, unsur yang terikat jaringan tumbuhan akan semakin meningkat sedangkan apabila pH basa, unsur yang terserap jaringan tumbuhan semakin sedikit menyebabkan metabolisme menjadi terganggu (Syahputra, 2005). Berdasarkan Caroline dan Moa (2015), suhu mengalami penurunan yang menyebabkan kenaikan kelarutan oksigen air dan menyebabkan nilai pH menjadi naik (basa). Kenaikan kelarutan oksigen dapat menyebabkan kenaikan removal pada COD dan BOD.

Suhu dan pH merupakan faktor penentu yang saling menunjang aktivitas enzimatik enzim-enzim perombak. Enzim perombak bekerja optimal pada suhu $28^\circ C$ (Wignyanto dkk., 1997; Suharjo dan Kurniati, 1994). Suhu merupakan faktor penentu kerja enzim perombak. Suhu yang terlalu tinggi dan terlalu rendah dapat menyebabkan enzim yang berupa protein akan mengalami denaturasi (Wignyanto dkk., 1997).

4.5.6 Analisa Morfologi Tumbuhan

Analisa morfologi tumbuhan dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan berupa tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun pada tumbuhan *Scirpus grossus*. Pengamatan terhadap panjang tumbuhan, lebar daun, dan jumlah daun dilakukan pada tumbuhan *Iris pseudacorus*. Selain pengamatan terhadap karakteristik fisik tumbuhan, juga dilakukan pengamatan terhadap berat basah dan berat kering tumbuhan.

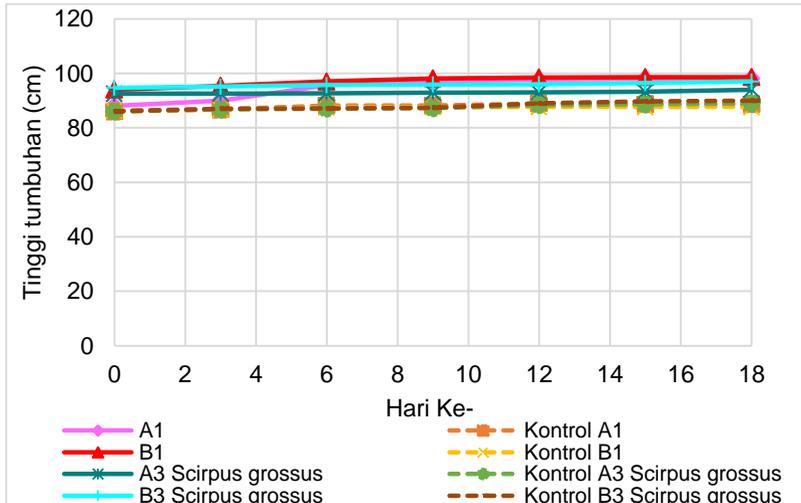
Analisa morfologi tumbuhan ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh air limbah terhadap perkembangan tumbuhan. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan tumbuhan yang terpapar limbah dengan tumbuhan yang tidak terpapar limbah (menggunakan air PDAM). Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing karakteristik tumbuhan:

• Analisa Karakteristik Fisik Tumbuhan *Scirpus grossus*

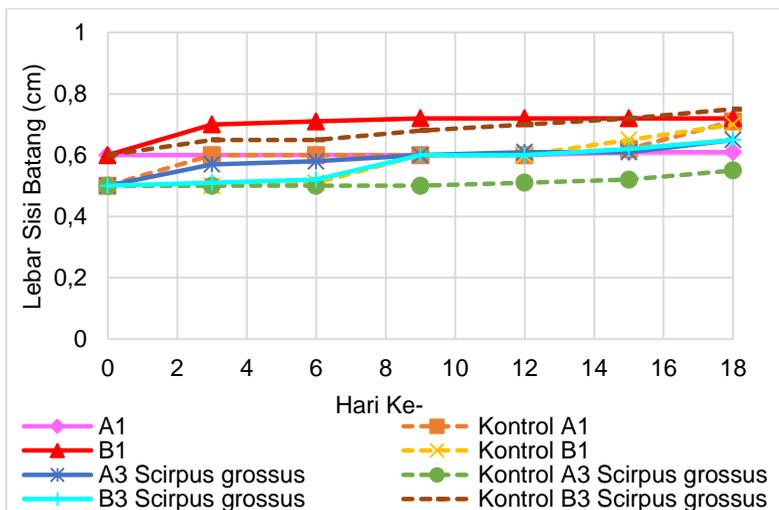
Hasil analisa terhadap karakteristik tinggi tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.30. Hasil analisa terhadap karakteristik lebar sisi batang *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.31. Hasil analisa terhadap karakteristik jumlah daun tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.32.

Terlihat pada Gambar 4.30 bahwa terjadi peningkatan tumbuhan dari tinggi tumbuhan saat terpapar limbah. Pertambahan tinggi tumbuhan yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan tinggi pada reaktor kontrol pada masing-masing reaktor. Selisih rata-rata pertumbuhan tinggi *Scirpus grossus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 8 cm -10 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi yang berlangsung selama uji *phytotreatment*. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan *Scirpus grossus*. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan tinggi tumbuhan *Scirpus grossus*. Menurut Hinchman *et al.* (1995), pertumbuhan tanaman ditunjukkan dengan adanya perubahan secara kuantitatif yang

ditandai dengan pertambahan ukuran, volume, jumlah sel, banyaknya protoplasma dan tingkat kerumitan yang tidak baik.

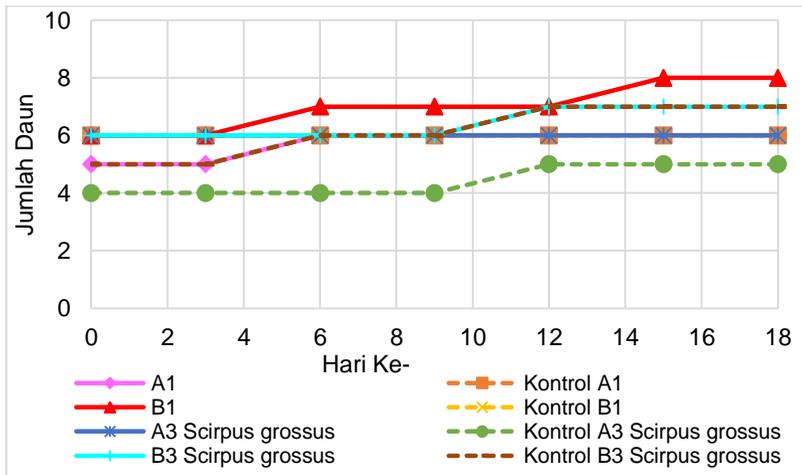


Gambar 4. 30 Tinggi Tumbuhan *Scirpus grossus*



Gambar 4. 31 Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus*

Berdasarkan Hasil pengamatan terhadap lebar sisi batang *Scirpus grossus* pada Gambar 4.31 menunjukkan bahwa Pertambahan lebar sisi batang yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan lebar sisi batang pada reaktor kontrol meskipun selisih pertambahan tidak terlalu berbeda jauh dengan reaktor kontrol. Selisih rata-rata pertumbuhan lebar sisi batang *Scirpus grossus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 0,2 cm – 0,3 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitoproses dalam tubuh tumbuhan selama selama uji *phytotreatment*. Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010), Fitoproses yang terjadi meliputi fitoekstraksi yang merupakan proses penyerapan kontaminan dari medium tumbuhan. Kontaminan yang terserap kemudian terdistribusi ke dalam berbagai organ tubuh salah satunya adalah batang.



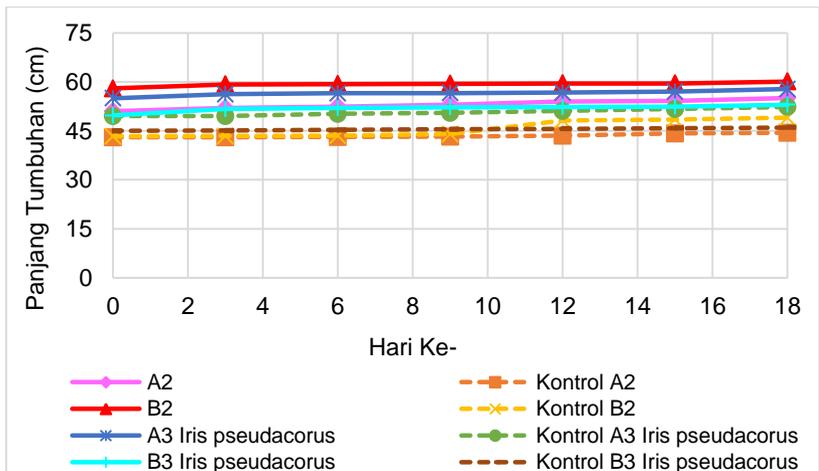
Gambar 4. 32 Jumlah Daun *Scirpus grossus*

Berdasarkan Hasil pengamatan terhadap jumlah daun *Scirpus grossus* pada Gambar 4.32 menunjukkan bahwa Pertambahan jumlah daun yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan jumlah daun pada reaktor kontrol

meskipun selisih pertambahan tidak terlalu berbeda jauh dengan reaktor kontrol. Selisih rata-rata pertumbuhan lebar sisi batang *Scirpus grossus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1 - 2 helai daun. Hal ini dikarenakan memang pertambahan daun membutuhkan waktu yang relatif lama berdasarkan pengamatan laju pertumbuhan *Scirpus grossus*.

• **Analisa Karakteristik Fisik Tumbuhan *Iris pseudacorus***

Hasil analisa terhadap karakteristik panjang tumbuhan *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 4.33. Hasil analisa terhadap karakteristik lebar daun tumbuhan *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 4.34. Hasil analisa terhadap karakteristik jumlah daun tumbuhan *Iris pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 4.35.

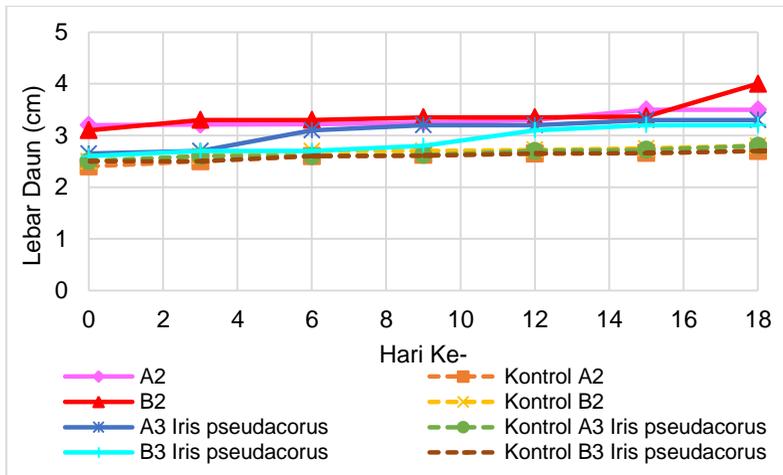


Gambar 4. 33 Panjang Tumbuhan *Iris pseudacorus*

Berdasarkan Hasil pengamatan terhadap panjang tumbuhan *Iris pseudacorus* pada Gambar 4.33 menunjukkan bahwa pertambahan tinggi tumbuhan yang terpapar limbah lebih

meningkat dari pada penambahan tinggi pada reaktor kontrol pada masing-masing reaktor.

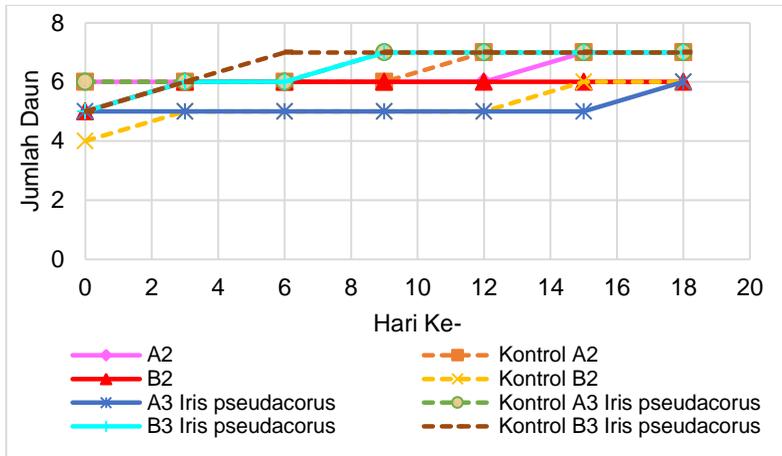
Selisih rata-rata pertumbuhan tinggi *Iris pseudacorus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 8 cm -10 cm. Hal ini menandakan pertumbuhan *Iris pseudacorus* tidak terhambat dengan adanya limbah, karena berlangsung pula proses fitodegradasi terhadap kontaminan yang diserap kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme (Mangkoedihardjo dan Samudro, 21010).



Gambar 4. 34 Lebar Daun *Iris pseudacorus*

Berdasarkan Hasil pengamatan terhadap lebar daun *Iris pseudacorus* pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa Pertambahan lebar daun *Iris pseudacorus* yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada penambahan lebar daun *Iris pseudacorus* pada reaktor kontrol meskipun selisih pertumbuhan tidak terlalu berbeda jauh dengan reaktor kontrol. Selisih rata-rata pertumbuhan lebar daun *Iris pseudacorus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 0,2 cm – 0,3 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitoproses dalam tubuh tumbuhan selama selama

uji *phytotreatment*. Hal ini menandakan tidak terdapat pengaruh limbah yang dapat menghambat pertumbuhan lebar daun *Iris pseudacorus*. Translokasi kontaminan yang diserap oleh akar akan sampai ke daun, yang nantinya akan terjadi dimanfaatkan untuk proses fitodegradasi.



Gambar 4. 35 Jumlah Daun *Iris pseudacorus*

Berdasarkan Hasil pengamatan terhadap jumlah daun *Iris pseudacorus* pada Gambar 4.35 menunjukkan bahwa Pertambahan jumlah daun yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan jumlah daun pada reaktor kontrol meskipun selisih pertambahan tidak terlalu berbeda jauh dengan reaktor kontrol. Selisih rata-rata pertumbuhan lebar sisi batang *Iris pseudacorus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1 - 2 helai daun. Hal ini dikarenakan memang petambahan daun membutuhkan waktu yang relatif lama berdasarkan pengamatan laju pertumbuhan *Iris pseudacorus*.

Dari adanya analisa karakteristik fisik pada tumbuhan, dapat diketahui bahwa pada pengamatan hari ke- 0 sampai hari ke-2 pertumbuhan pada tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun pada *scirpus grossus* belum mengalami kenaikan begitu pula pada panjang, lebar daun, dan jumlah daun pada *Iris pseudacorus*. Hal ini terjadi karena tumbuhan masih menyesuaikan dengan kondisi limbah, dimana pemanfaatan

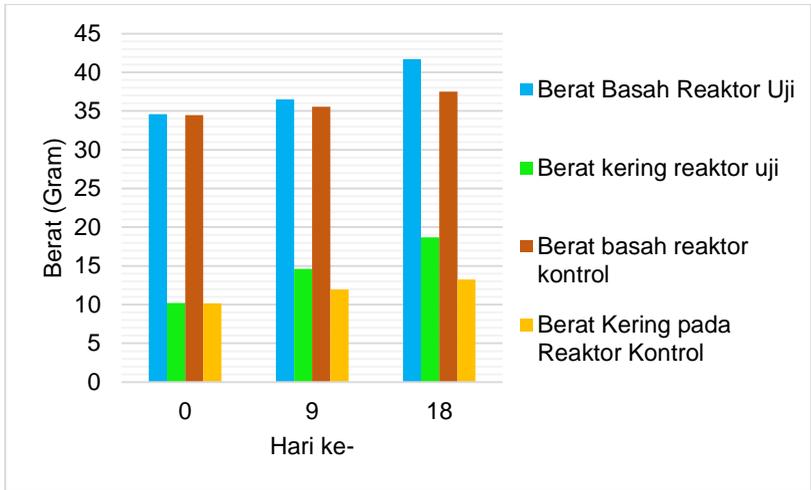
terhadap kandungan organik belum berjalan maksimal. Keadaan ini juga ditunjukkan dengan nilai removal COD, BOD, dan warna yang sedikit mengalami kenaikan.

Pada hari pengamatan ke- 4 sampai hari ke-12 terjadi kenaikan pertumbuhan pada tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun pada *scirpus grossus* belum mengalami kenaikan begitu pula pada panjang, lebar daun, dan jumlah daun pada *Iris pseudacorus*. Hal ini disebabkan karena tumbuhan sudah menyerap kandungan organik ataupun polutan dalam limbah dengan baik karena bantuan dari mikroorganisme yang tumbuh dan bekerja pada bagian akar tanaman. Berdasarkan Hayati (1192), kerjasama antara tumbuhan dan mikroorganisme dalam akar menyebabkan terjadinya kenaikan removal BOD, COD, dan warna pada limbah (Dapat dilihat pada Gambar penurunan removal COD, BOD, dan warna).

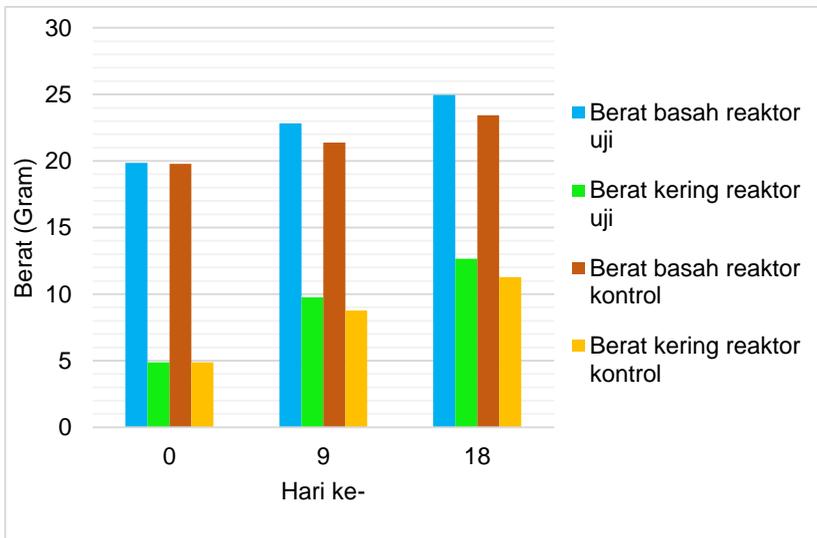
Pada hari pengamatan ke 14 sampai hari ke- 18 pertumbuhan pada fisik tumbuhan cenderung stabil. Hal ini menandakan kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik pada limbah yang nantinya akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sudah berkurang, sehingga tumbuhan tidak lagi menyerap banyak jumlah kandungan organik yang dihasilkan dari penguraian oleh mikroorganisme. Hal ini ditunjukkan dengan mulai stabilnya nilai removal BOD, COD, maupun warna (Dapat dilihat pada Gambar penurunan removal COD, BOD, dan warna).

• **Analisa Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan**

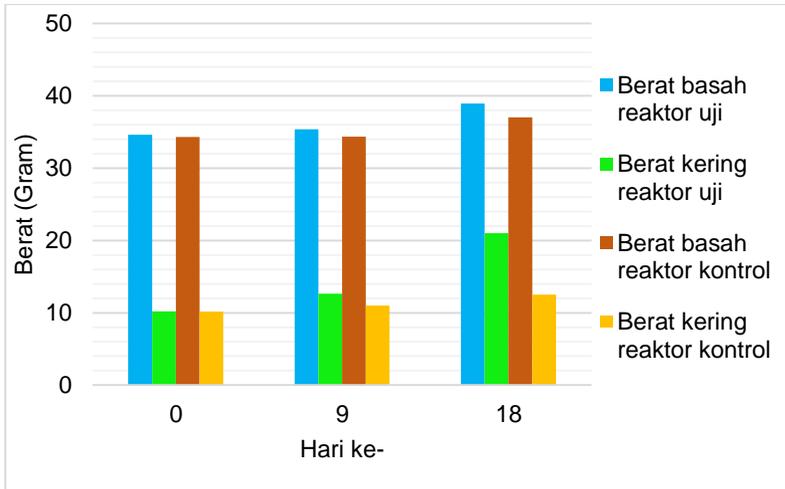
Analisa berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada hari pertama, tengah, dan akhir pengamatan. Tumbuhan diambil dari masing-masing reaktor *single plant* (1 tumbuhan *Scirpus grossus* atau 1 tumbuhan *Iris pseudacorus*) dan reaktor *mixed plant* (1 tumbuhan *Scirpus grossus* dan 1 tumbuhan *Iris pseudacorus*). Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui biomassa yang terkandung dalam tumbuhan. Biomassa tumbuhan ini menunjukkan akumulasi senyawa organik yang disintesis dari senyawa anorganik yang dihasilkan oleh bakteri kemudian digunakan oleh tumbuhan untuk proses pertumbuhannya (Tangahu *et al.*, 2013). Hasil analisa berat basah dan berat kering dapat dilihat pada Gambar 4.36 sampai Gambar 4.43



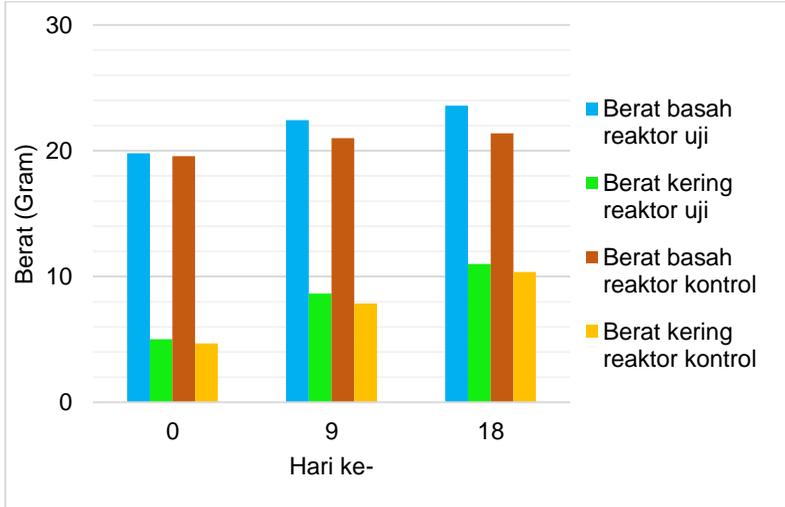
Gambar 4. 36 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor Single Plant *Scirpus grossus* F/D 1:2 (Reaktor A1)



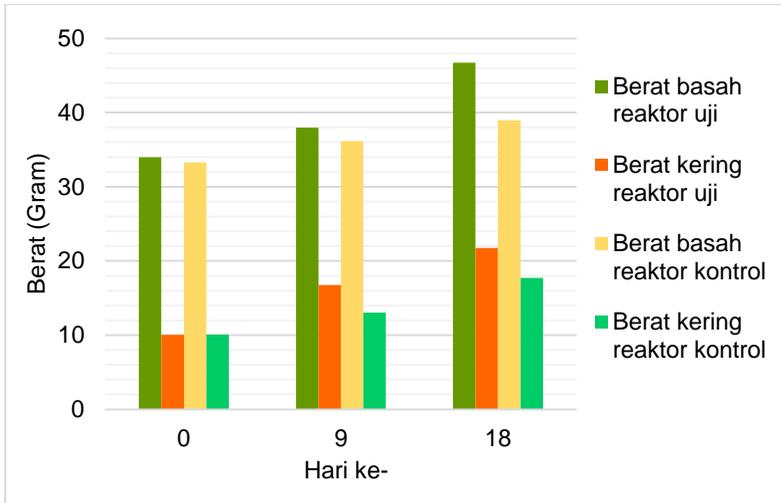
Gambar 4. 37 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor Single Plant *Iris pseudacorus* F/D 1:2 (Reaktor A2)



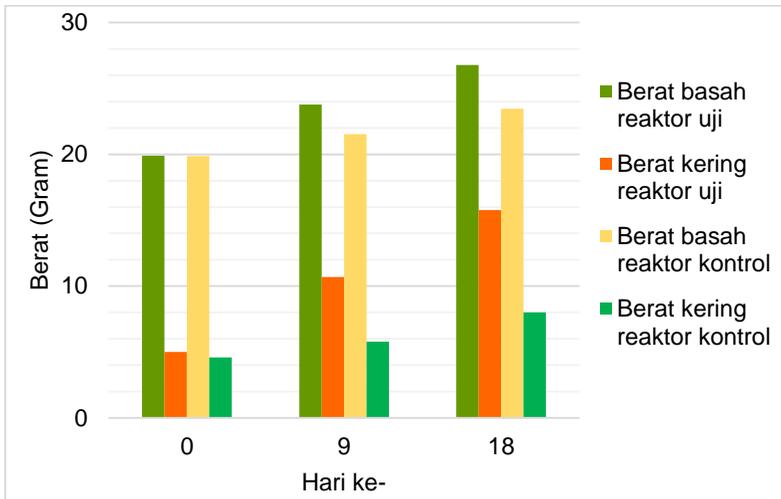
Gambar 4. 38 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Mixed plant Scirpus grossus* F/D 1:2 (Reaktor A3)



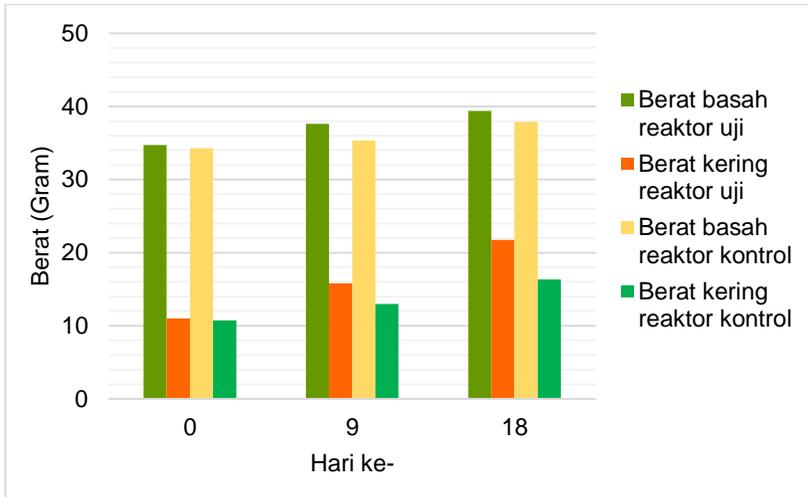
Gambar 4. 39 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Mixed plant Iris pseudacorus* F/D 1:2 (Reaktor A3)



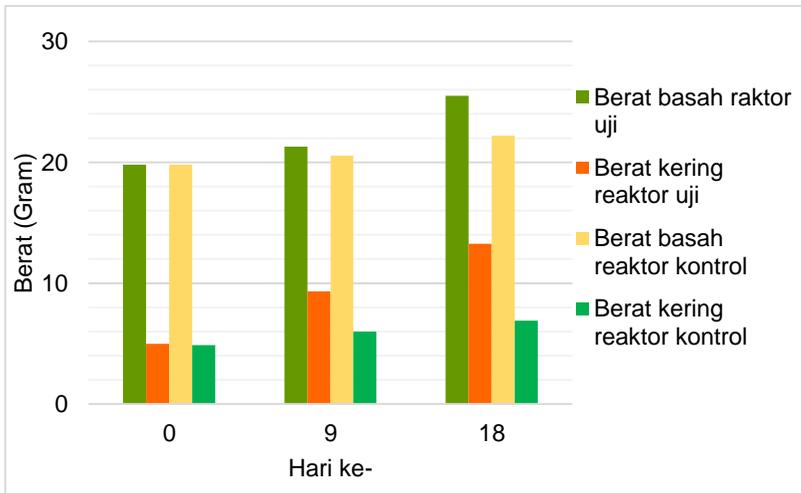
Gambar 4. 40 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Single Plant Scirpus grossus* F/D 2:1 (Reaktor B1)



Gambar 4. 41 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Single Plant Iris pseudacorus* F/D 2:1 (Reaktor B2)



Gambar 4. 42 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Mixed plant Scirpus grossus* F/D 2:1 (Reaktor B3)



Gambar 4. 43 Berat Basah dan Berat Kering Reaktor *Mixed plant Iris pseudacorus* F/D 2:1 (Reaktor B3)

Dari data yang ditampilkan pada Gambar 4.34 sampai Gambar 4.41 terlihat bahwa terjadi peningkatan berat kering seiring bertambahnya waktu pemaparan. Berat kering pada masing-masing reaktor uji memiliki nilai yang lebih besar dari pada reaktor kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah pewarnaan. Kenaikan biomassa pada masing-masing reaktor berkaitan dengan naiknya removal penyisihan COD dan BOD dalam uji *phytotreatment*, karena semakin banyak kontaminan yang diserap oleh tumbuhan.

Pada reaktor *mixed plant* menunjukkan peningkatan berat kering yang lebih besar daripada reaktor *single plant*. Hal ini dikarenakan pada kombinasi kedua tumbuhan tersebut saling bersinergi untuk menurunkan kandungan organik dalam limbah. Organisme yang satu memengaruhi organisme yang lainnya sehingga terdapat pengaruh langsung pada persediaan sumber daya, terjadilah keterkaitan simbiosis, dalam hal ini adalah simbiosis mutualisme (Herjanto, 2008). Hal ini sebanding dengan kenaikan removal COD dan BOD pada reaktor *mixed plant* yang memiliki nilai paling tinggi daripada *single plant*.

Biomassa tanaman pada media yang tidak mengandung limbah mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu pemaparan. Hal ini ditunjukkan dengan besar berat kering pada pengamatan hari ke-9 yang mengalami kenaikan. Kenaikan pada berat kering ini sebanding dengan kenaikan nilai removal pada COD, BOD, dan warna yang dimulai pada hari pengamatan ke- 4. Kenaikan biomassa ini menunjukkan adanya fitoproses berupa fitodegradasi kontaminan sebagai lanjutan dari proses penyerapan dan proses metabolik yang dilakukan oleh tumbuhan (Pivetz, 2001). Kontaminan yang diserap oleh *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* kemudian dimanfaatkan untuk metabolisme tumbuhan sehingga menghasilkan lignin yang berakibat pada naiknya biomassa *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*. Kandungan biomassa tinggi dikarenakan pertumbuhan tanaman yang baik serta didukung kondisi suhu dan pH media tumbuh yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

- Analisa mengenai besar nilai OLR (*Organic Loading Rate*)

OLR atau *Organic Loading Rate* merupakan salah satu faktor desain yang digunakan untuk mendesain penerapan aplikasi dalam penelitian ini. OLR merupakan istilah yang mencerminkan jumlah beban organik yang ada didalam limbah yang akan diolah. Unit pengolahan limbah yang umumnya dapat diterapkan menggunakan sistem *phytotreatment* adalah *wetland*.

Perhitungan analisa OLR ini digunakan untuk mengetahui besar pengaruh pemaparan *intermittent* melalui siklus F/D 1:2 dan F/D 2:1 yang mampu dan efektif dalam menghasilkan nilai OLR yang besar. Dalam perhitungan OLR yang perlu di ketahui adalah debit, konsentrasi, dan luasan yang digunakan. Berikut merupakan perhitungan analisa OLR:

- a) Pada pemaparan F/D 1:2

Diketahui: Volume	= 8 L = 0,008 m ³
Waktu	= 1 hari (siklus <i>flooding</i>)
(BOD) _{inlet}	= 89 mg/L
	= 0,089 kg/ m ³
Panjang reaktor	= 25 cm = 0,25 m
Lebar reaktor	= 28 cm = 0,28 m

Perhitungan:

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}} = \frac{0,008 \text{ m}^3}{1 \text{ hari}} = 0,008 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$A = \text{Panjang} \times \text{lebar} = 0,25 \text{ m} \times 0,28 \text{ m} = 0,07 \text{ m}^2$$

$$\text{OLR} = \frac{Q \times (\text{BOD})_{\text{inlet}}}{A} = \frac{0,008 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,089 \text{ kg}/\text{m}^3}{0,07 \text{ m}^2}$$

$$= 0,01 \text{ Kg BOD}/\text{m}^2 \cdot \text{hari} = 100 \text{ kg BOD}/\text{ha} \cdot \text{hari}$$

- b) Pada pemaparan F/D 2:1

Diketahui: Volume	= 8 L = 0,008 m ³
Waktu	= 2 hari (siklus <i>flooding</i>)
(BOD) _{inlet}	= 89 mg/L
	= 0,089 kg/ m ³
Panjang reaktor	= 25 cm = 0,25 m
Lebar reaktor	= 28 cm = 0,28 m

Perhitungan:

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}} = \frac{0,008 \text{ m}^3}{2 \text{ hari}} = 0,004 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$A = \text{Panjang} \times \text{lebar} = 0,25 \text{ m} \times 0,28 \text{ m} = 0,07 \text{ m}^2$$

$$\text{OLR} = \frac{Q \times (\text{BOD})_{\text{inlet}}}{A} = \frac{0,004 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,089 \text{ kg}/\text{m}^3}{0,07 \text{ m}^2}$$

$$= 0,005 \text{ Kg BOD}/\text{m}^2 \cdot \text{hari} = 50 \text{ Kg BOD}/\text{ha} \cdot \text{hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa OLR F/D 1:2 lebih besar daripada OLR 2:1. nilai OLR F/D 1:2 sebesar 100 kg BOD/ha.hari dan OLR F/D 2:1 sebesar 50 KgBOD/ha.hari. Berdasarkan EPA (1999) mengenai kriteria perencanaan *wetland*, diketahui bahwa besar kriteria OLR sebesar 10-50 kg/ha.hari.

4.5.7 Uji Statistik

Dalam penelitian ini, hasil analisa parameter utama berupa COD, BOD dan warna dalam masing-masing reaktor diuji signifikansi dalam uji statistik. Uji statistik bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel dalam penelitian ini. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan Anova dengan *software* SPSS 16.0. Uji anova bertujuan untuk mengetahui signifikansi dari masing-masing variabel. Hasil uji statistik Anova ini menunjukkan variabel manakah yang paling berpengaruh terhadap efisiensi removal COD, BOD dan warna pada limbah pewarnaan batik.

Uji statistik ini menggunakan uji anova dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Pengaruh yang signifikan dalam uji statistik ditunjukkan dengan P-value yang lebih kecil dari 0,05 (P-value <0,05). Nilai P-value <0,05 menunjukkan bahwa variabel tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal COD, BOD dan warna, sebaliknya jika nilai P-value >0,05 maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal BOD, COD dan warna pada limbah pewarnaan batik. Hasil uji Anova disajikan pada Tabel 4.9 untuk parameter COD, Tabel 4.10 untuk parameter BOD, dan Tabel 4.11 untuk parameter warna.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Anova Parameter COD

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	733.222 ^a	5	146.644	.288	.916	.046
Intercept	157344.444	1	157344.444	308.633	.000	.911
Jenis_Tumbuhan	636.222	2	318.111	.624	.543	.040
Sistem_Pemaparan	58.778	1	58.778	.115	.737	.004
Jenis_Tumbuhan* Sistem_Pemaparan	38.222	2	19.111	.037	.963	.002
Error	15294.333	30	509.811			
Total	173372.000	36				
Corrected Total	16027.556	35				

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa pengaruh jenis tumbuhan, sistem paparan, dan variabel gabungan atau interaksi antara jenis tumbuhan dan sistem paparan memiliki nilai P-value > 5% yang berarti variabel ini tidak berpengaruh signifikan terhadap COD.

Tabel 4. 10 Hasil Uji Anova Parameter BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1902.889 ^a	5	380.578	.350	.878	.055
Intercept	177802.778	1	177802.778	163.500	.000	.845
Jenis_Tumbuhan	1845.722	2	922.861	.849	.438	.054
Sistem_Pemaparan	49.000	1	49.000	.045	.833	.001
Jenis_Tumbuhan* Sistem_Pemaparan	8.167	2	4.083	.004	.996	.000
Error	32624.333	30	1087.478			
Total	212330.000	36				
Corrected Total	34527.222	35				

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa pengaruh jenis tumbuhan, sistem paparan, dan variabel gabungan atau interaksi antara jenis tumbuhan dan sistem paparan memiliki nilai P-value > 5% yang berarti variabel ini tidak berpengaruh signifikan terhadap BOD.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Anova Parameter Warna

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1961.917 ^a	5	392.383	15.595	.000	.722
Intercept	251502.250	1	251502.250	9.996E3	.000	.997
Jenis_Tumbuhan	1803.500	2	901.750	35.839	.000	.705
Sistem_Pemaparan	132.250	1	132.250	5.256	.029	.149
Jenis_Tumbuhan* Sistem_Pemaparan	26.167	2	13.083	.520	.600	.034
Error	754.833	30	25.161			
Total	254219.000	36				
Corrected Total	2716.750	35				

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa pengaruh jenis tumbuhan, sistem pemaparan memiliki nilai P-value<5% yang berarti variabel ini berpengaruh signifikan terhadap warna. Pada variabel gabungan atau interaksi antara jenis tumbuhan dan sistem pemaparan memiliki nilai P-value>5% yang berarti variabel ini tidak berpengaruh signifikan terhadap warna.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Konsentrasi COD, BOD, dan warna tertinggi yang mampu disisihkan dalam limbah pewarnaan dengan konsentrasi limbah sebesar 128 mg/L COD, 89 mg/L BOD, dan warna 43,873 mg/L atau setara dengan besar *uptake* tumbuhan 0,06 grBOD/gr *Scirpus grossus* dan 0,16 grBOD/gr *Iris pseudacorus* adalah sebagai berikut:
 - Reaktor *mixed plant* dengan sistem paparan *intermittent* F/D 2:1 dengan komposisi di dalam reaktor adalah media, limbah dan tumbuhan mampu menyisihkan COD sebesar 89%, BOD sebesar 97% dan warna sebesar 99%.
 - Reaktor Kontrol yang berisi media dengan limbah tanpa tumbuhan mampu menyisihkan COD sebesar 60%, BOD sebesar 70% dan warna sebesar 76%
 - Sehingga kemampuan tumbuhan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* mampu menyisihkan COD sebesar 29%, BOD sebesar 27% dan warna sebesar 23%.
2. Sistem paparan *intermittent* dalam mereduksi kandungan COD dan BOD tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan uji statistik Anova yang memiliki P-value >5%. Sistem paparan *intermittent* dalam mereduksi kandungan warna memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan uji statistik Anova yang memiliki P-value <5%.

5.2 Saran

- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dibandingkan dengan siklus *flooding* tanpa *drying*, supaya dapat diketahui antara pengaruh sistem paparan *intermittent* dengan kontinyu.
- Untuk penelitian selanjutnya ditambahkan variasi paparan dengan siklus *flooding* lebih lama dari pada siklus *drying*

untuk membuktikan apakah jenis tumbuhan ini bersifat sensitif terhadap ketersediaan air.

- Untuk penelitian selanjutnya dilakukan analisa terhadap media yang akan digunakan dalam *phytotreatment*.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan, Edisi 1*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Alaerts, G dan Santika, S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Al-Baldawia, I.A.W., Abdullaha, S.R.S., Sujab, F., Anuara, N., Idrisc, M., 2013. *A phytotoxicity test of bulrush (Scirpus grossus) grown with diesel contamination in a free-flow reed bed system*. Journal of Hazardous Materials, 252(1), hal. 64-69.
- Al-Baldawia, I.A.W., Abdullaha, S.R.S., Sujab, F., Anuara, N., Idrisc, M., 2015. *The Ratio of Plant Numbers to the Total Mass of Contaminant as One Factor in Scaling-up Phytoremediation Process*. Sciences & Engineering Journal, 74(3), hal. 111-114.
- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. dan Guan, C.T. 2004. *Treatment of Textile wastewater by Advanced Oxidation Processes*. Global Nest the Int. J. 6(1), hal. 222-230.
- APHA,AWWA,WEF.1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association.
- April, A.L., dan Mangkoedihardjo, S. 2010. *Efek Kompos Tidak Stabil dan Sistem Pengoperasian Secara Intermitten dan Kontinyu Terhadap Efisiensi Penyisihan Surfaktan pada Bed Evapotranspirasi*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Barnes, D.E., dan Chan, L.G.1990. *Common Weeds of Malaysia and Their Control*. Malaysia: Ancom Berhad Shah Alam.
- Bayer, A.G.1992. *Important Crops of The World and Their Weeds (2nd)*. Federal Republic of Germany, Leverkusen, hal. 1168-1169.
- Behrends, L., Houke, L., Bailey, E., Jansen, P., Brown, D. *Reciprocating Constructed Wetlands for Treating Industrial, Municipal, and Agricultural Wastewater*. Water Sci. Technol. 44(2000), hal. 399-405.
- Biro Hukum Sekretariat Daerah Provinsi Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013*

- tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Sekretariat Daerah Provinsi Jawa Timur.
- Boyd, C.E. 1990. *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 482 p.
- Carliell C.M., Barclay, S.J., Naidoo, No, Buckley, CA, Mulholland, D.A. dan Senior, E., *Microbial Decolorization of Reactive Red Dye Under Anaerobic Condition*. Water SA, 21(1), 61-69, 1995.
- Caroline, J., dan Moa, G, A. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus Palaefolius*) Pada Limbah Industri Peleburan Tembaga Dan Kuningan. Seminar Nasioanal Sains dan Teknologi Terapan III. Suarabaya
- Carrillo, Y.A., Guarín, dan Guillot, G. 2006. *Biomass Distribution, Growth and Decay of Egeria densa in a Tropical High-Mountain Reservoir (NEUSA, Colombia)*. Journal Aquatic Botany, 85 (1), hal. 7–15.
- Chan, N. W. (2012). *Managing Urban Rivers and Water Quality In Malaysia For Sustainable Water Resources*. Wat. Res. Dev, 28(2), hal. 343-354.
- Chazarenc, F., Gagnon, V., dan Brisson, J. 2009. *Effect of Plant and Artificial Aeration on Solids Accumulation and Biological Activities in Constructed Wetlands*. Ecol. Eng, 35, 1005-1010.
- Chhotu, D., Jadia, D., dan Fulekar, M.H. 2009. *Phytoremediation of Heavy Metals: Recent Techniques*. African Journal of Biotechnology, 8(6), hal. 921-928.
- Crites, R dan Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralize wastewater management system*: Mc Graw-Hill, New York.
- Dhamayanthie, I., 2000, Pengolahan Limbah Cair Industri Textile dengan Proses Anaerob, Thesis Master, Program Studi Teknik Kimia, Program Proses Sarjana ITB Bandung.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Penerbit kanisius. Yogyakarta.
- Erakhrumen, A., dan Agbontalor, A. 2007. *Review Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology*

- for *Pollution Prevention, Control and Remediation in Developing Countries*. Educational Research and Review, 2 (7), hal. 151–156.
- Environmental Protection Agency. 1999. *Free Water Surface Wetland for Wastewater Treatment*. Arizona: City of Phoenix
- Garbisu, C., dan Alkorta, I. 2001. *Phytoextraction: A Cost-Effective Plant-Based Technology for The Removal of Metals from The Environment*. *Bioresour Technol*, 77(3), hal. 229-236.
- Hadiwidodo, M., Oktawian, W., Primadani, A.R., Parasmita, B.N., Gunawan, I. 2012. *Pengolahan Air Lindi dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob dan Wetland*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(2), hal. 84-95.
- Hariyadi, Sigid. 2004. *BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah*. Pengantar Falsafah Sains, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Hayati, N. 1992. Kemampuan eceng gondok dalam mengubah sifat fisik kimia limbah cair pabrik pupuk urea dan asam formiat. Bandung: Pasca sarjana biologi Institut Teknologi Bandung.
- Helianti, Is. 2007. *Biofilm untuk Stabilisasi Bangunan Agar Gempa*. Artikel IPTEK.
- Herjanto, Eddy. 2008. *Manajemen Operasi*. Edisi Ketiga. Jakarta: Grasindo
- Hernayanti., dan Proklamasiningsih, E. 2004. *Phytotreatment Limbah Cair Batik Menggunakan Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Sebagai Upaya Untuk Memperbaiki Kualitas Air Phytoremediation Of Batik Liquid Waste Using Water Lettuce (Pistia stratiotes L.) For Improving Water Quality*. *LPPM Universitas Jendral Soedirman Journal*, 4 (3), hal. 165-172.
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Hinchman, R.R., Negri, M.C., dan Gatliff, E.G. 1995. *Phytoremediation: Using Green Plants to Clean Up Contaminated Soil, Groundwater, And Wastewater*. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural

- Sciences, Inc,
<http://www.treemediation.com/Technical/Phytoremediation>
 n 1998.pdf.
- Jacobs, J., M. Graves dan J. Mangold. 2010. *Plant Guide for Paleyellow Iris (Iris pseudacorus)*. USDA-Natural Resources Conservation Service, Montana State Office : Montana.
- Jia, W., Zhang, J., Wu, J., Xie, H., dan Zhang, B. 2010. *Effect of Intermittent Operation on Contaminant Removal and Plant Growth in Vertical Flow Constructed Wetlands: A Microcosm Experiment*. *Desalination*, 262 (1), hal. 202–208.
- Jinadasa, K.B.S.N., Tanaka, N., Mowjood, M.I.M., dan Werellagama, D.R.I.B. 2006. *Effectiveness of Scirpus grossus in Treatment of Domestic Wastes in a Constructed Wetland*. *Journal of Freshwater Ecology*, 21 (4), hal. 603-612.
- Jinadasa, K.B.S.N., Tanaka, N., Sasikala, S., Werellagama, D. R., Mowjood, M. I., Ng. W. J. 2008. *Impact of Harvesting on Constructed Wetlands Performance-A Comparison Between Scirpus grossus and Typha angustifolia*. *J. Environ. Sci. Health*, 43, hal. 664–671.
- Kadlec, R.H., dan Wallace, S.D. 2009. *Treatment Wetland Second Edition*. CRC Press: United States of America.
- Kalra YP. 1998. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. Boca Raton: CRC Press, ISBN 1574441248.
- Karenlampi, S.K., Schat, H., Vangronsveld, J., Verkleij, J. A. C., van der Lelie, D., Mergeay, M. Tervahauta A.I. 2000. *Genetic Engineering in the Improvement of Plants for Phytoremediation of Metal Polluted Soils*. *Environ. Pollut*, 107, hal 225–231.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 1995. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Industri*. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kern, J. 2003. *Seasonal Efficiency of a Constructed Wetland for Treating Dairy Farm Wastewater in Mander, U., Jenssen, P.D. (Ed). Constructed Wetlands for Wastewater*

- Treatment in Cold Climates*, 11. hal.197-214. Chicago: University of Chicago Press.
- Khiatuddin, M. 2003. Pelestarian Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa. Bandar Lampung.
- Kholidiyah N, 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kurniadie, Denny. 2011. *Teknologi Pengolahan Air limbah Cair secara Biologis*. Widya Padjajaran.
- Kurniawan, M.W., Purwanto,P., dan Sudarso,S. 2013. *Strategi Pengelolaan Air Limbah Sentra UMKM Batik yang Berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo* . Jurnal Ilmu Lingkungan, 11(2), hal. 62-72.
- Lee,Y.J. 2008. *Purification and Characterization of Cellulase Produced by Bacillus amyoliquefaciens DL-3 Utilizing Rice Hull*. Bioresource Technology, 99 (1), hal. 378–386.
- Lestari, N. D. dan Agung, T. 2013. Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektrokoagulasi. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. 6(1).
- Lestari., Giyatmi, W., Solichatun., Sugiyarto. 2006. *Pertumbuhan, kandungan klorofil, dan laju respirasi tumbuhan Garut (Maranta arundinacea L.) setelah Pemberian Asam Gibberelat (GA₃)*. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS). Surakarta.
- Li, H.Z., Ye, J.F., dan Xu, Z.X. 2008. *Influence of Alternate Operation on Clogging in a Vertical-Flow Constructed Wetland*. Acta Sci. Circumst, 28, hal. 1555-1560.
- Lorion R. 2007. *Constructed Wetlands: Passive Systems for Wastewater Treatment. Technology Status Report prepared for the US EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship*. http://clu-in.org/download/studentpapers/constructed_wetlands.pdf.
- Maier, Raina. 2009. *Envorenmental Microbiology*. USA: Academic press of Elsevier.

- Mangkoedihardjo, S dan Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Manurung, R., R. Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob*. Jurnal pp, hal. 1-19.
- Mathur, N., Bhatnagar, P., Bakre, P. 2005. *Assessing Mutagenicity of Textile Dyes From Pali (Rajasthan) Using Ames Bioassay*. Applied ecology and environmental research, 4(1), hal. 111-118.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse*. 3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill, Inc. New York, Singapore. 1334 p.
- Metcalf & Eddy 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. MC. Graw- Hill. New York. America.
- Mohan, S.V., Prasad, K.K., Rao, N.C., dan Sarma, P.N. 2005. *Acid Azo Dye Degradation By Free And Immobilized Horseradish Peroxidase (HRP) Catalyzed Process*. Chemosphere, 58, hal. 1097–1105.
- Moreno, F.N., Anderson, C.W.N., Stewart, R.B., dan Robinson, B.H. 2008. *Phytofiltration of mercury-contaminated water: volatilisation and plant-accumulation aspects*. Environmental and Experimental Botany Journal, 62 (1), hal. 78–85.
- Mukti, A.M. 2008. *Penggunaan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichornia crassipess) Sebagai Pre Treatment Pengolahan Air Minum Pada Air Selokan Mataram*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana, UII, Yogyakarta.
- Munir, Erman. 2006. *Pemanfaatan Mikroba Dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif Untuk Lingkungan*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Nilratnisakorn, S., Thiravetyan, P., Nakbanpote, W. 2009. *A Constructed Wetland Model for Synthetic Reactive Dye Wastewater Treatment by Narrow-Leaved Cattails (Typha angustifolia Linn)*. Water Science Technology. 60, hal.1565-1574.
- Novoty, V. dan Olem, H. 1993. *Water Quality: Prevention, Identification and Management of Difuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold: New York.

- Octarina, Elsita. 2015. *Uji Penurunan kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik menggunakan Scirpus grossus dan Egeria densa*. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- OECD Guedline for Testing of Chemicals 208. 1984. *Terrestrial Plants, Growth Test*.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Papadopoulos MC, Saadoun S, Woodrow CJ. 2001. *Occludin Expression in Microvessels of Neoplastic and Non-neoplastic Human Brain*. *Neuropathology Application Neurobiology*;27: 384–95.
- Permana, D. 2003. Keanekaragaman Makrobentos di Bendungan Bapang dan Bendungan Ngablabaan Sragen. [Skripsi]. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Pivetz, E. B. 2001. *Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites*. *Ground water Issue*, 540.
- Poach M.E., dan Hunt P.G. 2007. Effect of Intermittent Drainage on Swine Wastewater Treatment by Marsh-Pond-Marsh Constructed Wetlands. *Ecological Engineering*, 30(1), hal. 43–50.
- Prasad, M.N.V., dan De, O.F.H.M. 2003. *Metal hyperaccumulation in plants—biodiversity prospecting for phytoremediation technology*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6 (3), hal. 110–146.
- Prawira, Jimmy. 2015. *Efektifitas Sistem Lahan Basah Buatan sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Domestik menggunakan Tumbuhan Hias Iris Pseudacorus L*. Tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Riau.
- Prochaska, C.A., Zouboulis, A.I., 2006. *Removal of Phosphates by Pilot Vertical-Flow Constructed Wetlands using a Mixture of Sand and Dolomite as Substrate*. *Ecol. Eng.* 26, hal. 293–303.
- Purwaningsih, I. 2008. *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik CV Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode*

Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Warna. Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, UII, Yogyakarta.

- Puspita, U.R., Siregar, A.S., dan Hadayati, N.V. 2011. *Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) Yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik.* Berkala Perikanan Terubuk, 39 (1), hal. 58–64.
- Rashidi, H.R., Sulaiman, N.N.M., Hashim, N.A. 2012. *Batik Industry Synthetic Wastewater Treatment using Nanofiltration Membrane.* Procedia Engineering, 44, hal 2010-2012.
- Reed, S. C. 1993. *Subsurface Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment a Technology Assesment.* U.S. Environmental Protection Agency: New Orleans.
- Satrawijaya, A. T. 2009. *Pencemaran Lingkungan.* Jakarta: Rineka Cipta.
- Sasongko, L.A. (2006). *Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan Dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang)* Tesis Magister pada Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Satrya, R.W. 2015. *Sejarah Industrialisasi Batik Di Kampung Batik Jetis Sidoarjo Tahun 1970-2013.* E-Journal Pendidikan Sejarah, 3(3), hal. 480-486.
- Sheoran, V., Sheoran, A.S., dan Poonia, P. 2009. *Phytomining: A review.* Miner. Eng, 22(12), hal. 1007-1019.
- Sianita, D., dan Nurchayati, I.K. 2009. *Kajian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik, Kombinasi Aerob-Anaerob Dan Penggunaan Koagulan Tawas.* Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia, UNDIP, Semarang.
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Keasaman Menggunakan alat pH Meter,* (SNI 06-6989.11-2004).
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Suhu Menggunakan Termometer,* (SNI 06-6989.23-2005).

- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) Refluks Terbuka dengan Refluks Terbuka Secara Titrimetri*, (SNI 06-6989.73-2009)
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia*, (SNI 6989.72:2009).
- Stottmeister U., A. WieBner, P. Kuschik, U. Kappelmeyer, M. Kastner, O. Bederski, R. A. Müller, dan H. Moormann. 2003. *Effects of Plants and Microorganisms In Constructed Wetlands For Wastewater Treatment*. Biotech. Advances, 22, hal. 93-117.
- Suelee, A. L. 2015. *Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (Vetiverie zozanioides) for Water Contaminated with Selected Heavy Metal*. Project Report for the Degree of Bachelor of Environmental Science and Technology, Universiti Putra Malaysia.
- Suharjono, N.H dan T.H. Kurniati. 1994. Potensi komunitas bakteri pemecah detergen jenis alkil benzen sulfonat (ABS) dan linier alkil benzen sulfonat (LAS). *Jurnal Universitas Brawijaya* 6 (2): 100-108.
- Suheryanto, D. 2012. *Eksplorasi Pembuatan dan Proses Pencelupan Batik dengan Zat Pewarna Alam*. Yogyakarta: Balai Besar Kerajinan dan Batik.
- Suheryanto, D. 2015. *Penggunaan Natrium Silikat pada Proses Pelorodan Batik Terhadap Pelepasan Lilin dan Kekuatan Tarik Kain. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam Indonesia ISSN 1693-4393*. UPN Veteran, Yogyakarta.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tumbuhan Hias Cyperusalternifolius L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (ssf-wetlands)*. Tesis. Semarang : Magister Ilmu Lingkungan UNDIP.
- Suprihatin, H. 2014. *Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo Dan Alternatif Pengolahannya*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Pembangunan, Surabaya.

- Susanti, E., dan Henny. 2008. *Pedoman Pengolahan Limbah Cair Yang Mengandung Kromium Dengan Sistem Lahan Basah Buatan Dan Reaktor Kolom*. Pusat Penelitian Limnologi. LIPI. Cibinong, 49 hal.
- Susanto, S.S.K. 1980. *Seni Kerajinan batik Indonesia, Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik*. Yogyakarta: Departemen Perindustrian.
- Sutanto, H.B. 2015. *Studi Alternatif Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Sistem Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Hias*. Laporan Penelitian. Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta.
- Suswati, Anna. 2012. *Analisis Luasan Constructed Wetland Menggunakan Tumbuhan Iris dalam Mengolah Air Limbah Domestik (Greywater)*. Indonesian Green Technology Journal, 1 (3).
- Sutherland, W.J. 1990. *Biological Flora of the British Isles: Iris pseudacorus L. Journal of Ecology* 78: 833-848.
- Syafputra, Rivai. 2015. *Jenis-jenis gulma*. <http://mhdrivaisyafputra.blogspot.co.id/2015/08/jenis-jenis-gulma.html>, diakses 16 April 2016.
- Syahputra, Rudy. 2006. Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (*Etchornia Crassipes Solms*). Jurnal Online Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Tangahu, B.V., Abdullah, S.R.S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., dan Mukhlisin, M. 2013. *Phytoremediation of Wastewater Containing Lead (Pb) in Pilot Reed Bed Using Scirpus grossus*. International Journal of Phytoremediation, 15 (7), hal. 663-676.
- Tangahu, Bieby Voijant. 2015. *Comparison of Single Plant And Mixed Plants Using Reedbed System In Treating Batik Industry Wastewater*. International Postgraduate Conference on Biotechnology.
- Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland, Purifikasi, Volume 2 Nomor 3, ITS – Surabaya.

- Tanner, C.C., D'Eugenio, J., McBride, G.B., Sukias, J.P.S., Thompson, K. 1999. *Effect of Water Level Fluctuation on Nitrogen Removal from Constructed Wetland Mesocosms*. *Ecol. Eng.*, 12, hal. 67-92.
- Taufik, M. 2013. *Komparasi Pemberian Air Irigasi Dengan Sistem Continous Flow dan Intermittent Flow*. *Surya Beton*, 1(1).
- Tee, H.C., Seng, C.E., dan Lim Noor, A. Md, P.E. 2009. *Performance comparison of constructed wetlands with gravel- and rice husk-based media for phenol and nitrogen removal*. *Sci. Total Environ.*, 407, hal. 3563–3571.
- Umaly, R.C. dan Cuvin, Ma L.A. 1988. *Limnology: Laboratory and field guide, Physico-chemical factors, Biological factors*. National Book Store, Inc. Publishers. Metro Manila. 322 p.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2000. *Ecological Effect Guidelines OPPTS 850.4400*. USA: Office of Water – Environmental Protection Agency (EPA).
- Vamerali, T., Bandiera, M., Coletto, C., Zanetti, F., Dickinson, N.M., dan Mosca, G. 2009. *Phytoremediation Trial on Metals and Arsenic Contaminated Pyrate Wastes (Torviscosa, Italy)*. *Environmental Pollution*, 157: 887-894.
- Valderrama, A., Tapia, J., Peñailillo, P., dan Carvajal, D.E. 2013. *Water Phytoremediation of Cadmium and Copper Using Azolla filiculoides Lam. in a Hydroponic System*. *Water and Environment Journal*, 27 (1), hal. 293-300.
- Vymazal, J. 2008. *Waterwaste Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub Surface Flow*. Czech Republic: Springer
- Vymazal, Jan. 1999. *Wastewater treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub Surface Flow*. Springer Science and Business Media B.V
- Wahyu, D.A., dan Syafrudin, S., Zaman, B. 2015. *Pengaruh Jumlah Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Waktu Tinggal terhadap Penurunan Konsentrasi COD, BOD, dan Warna dalam Limbah Batik*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), hal. 1-7.

- Watini. 2009. *Pengaruh Waktu Kontak Eceng Gondok (Eichornia crassipes) terhadap Penurunan Kadar Cd dan Cr Pada Air Limbah Industri Batik (Home Industry Batik Di Desa Sokaraja Lor)*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Ilmu Kesehatan, UNSOED, Purwokerto.
- Wignyanto, S. Wijana, N. Hidayat, Sukardi, dan Suharjono. 1997. Teknik baru cara peningkatan efektivitas dan efisiensi kemampuan biodegradasi surfaktan detergen alkylbenzene sulfonate. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik* 9 (2): 35-45.
- Yasril, A.G. 2009. *Kemampuan Mansiang (Scirpus grossus) dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD limbah Rumah Makan*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(2), hal. 67-71.
- Yusak, A., dan Adi, K. 2011. *Keeksotisan Batik Jawa Timur*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., dan Pravitasari, V. A. 2009. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode elektrokoagulasi. *Jurnal Teknik* Vol 5 (1).
- Zurita, F., De Anda, J., Belmont, M.A., Cervantes-Martínez, J., 2008. *Stress detection by laser-induced fluorescence in Zantedeschia aethiopica planted in subsurface-flow treatment wetlands*. *Ecol. Eng.*, 33, hal. 110–118.
- Zhang, J., Huang, X., Liu, C.X., Shi, H.C., dan Hu, H.Y. 2005. *Nitrogen removal enhanced by intermittent operation in a subsurface wastewater infiltration system*. *Ecol. Eng.*, 25(1), hal. 419–428.

LAMPIRAN A
PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat :

- Erlenmeyer 250 mL 2 buah
- Tabung COD
- Rak COD
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL 1 buah
- Gelas ukur 25 mL 1 buah
- Kompor listrik

Bahan :

- Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
- Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
- Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
- Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indiaktor Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)

Produr :

- Memasukkan sampel ke dalam tabung 2 COD masing-masing sebanyak 2 mL, dimana 1 tabung sebagai blanko.
- Memasukkan Hg_2SO_4 sebanyak $\frac{1}{4}$ spatula.
- Menambahkan 1,5 mL Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
- Menambahkan larutan campuran asam sebanyak 3,5 mL.
- Menyalakan kompor listrik dan meletakkan tabung COD pada rak COD, kemudian meletakkan rak COD tersebut di atas kompor listrik. Memanaskan selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, kompor listrik dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Menambahkan indikator feroin sebanyak 1 tetes.

- Memindahkan sampel yang berada pada tabung COD ke dalam erlenmeyer 100 mL kemudian melakukan titrasi menggunakan standart FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat permanen.
- Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD} \left(\text{mg} \frac{\text{O}_2}{\text{L}} \right) = \frac{(A - B) \times n \times 8000}{\text{Volume sampel}} \times P \times f$$

Keterangan :

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = pengenceran

F = faktor FAS

2. Analisa BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan bahan :

- Labu ukur 500 ml 1 buah
- Botol *winkler* 300 ml 2 buah
- Botol *winkler* 150 ml 2 buah
- Botol *winkler* 300 ml 1 buah
- Botol *winkler* 150 mL 1 buah

Prosedur analisa :

- Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
- Sampel yang telah diencerkan dituangkan ke dalam 1 botol *winkler* 300 mL dan 1 botol *winkler* 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati-hati.
- Air pengencer dituangkan ke dalam 1 botol *winkler* 300 mL dan 1 botol *winkler* 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati-hati.
- Larutan dalam botol *winkler* 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20 °C selama 5 hari.
- Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan :

$$\text{BOD}_{20}^5 \text{ (mg/L)} = \frac{\{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)\} \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL Sampel}}{\text{Volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan :

- X₀ = DO sampel pada t = 0
- X₅ = DO sampel pada t = 5
- B₀ = DO blanko pada t = 0
- B₅ = DO blanko pada t = 5
- P = Derajat pengenceran

3. Analisa DO (*Dissolve Oxygen*)

Alat :

- Larutan mangan sulfat (MnSO₄)
- Larutan pereaksi oksigen
- Larutan asam sulfat (H₂SO₄) pekat
- Indikator amilum 0.5%
- Larutan standart Natrium tiosulfat 0,0125 N

Bahan :

- Botol *winkler* 150 mL 1 buah
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Erlenmeyer 250 mL 1 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL 1 buah
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah

Prosedur analisa :

- Ambil sampel langsung dengan cara memasukkan botol *winkler* ke dalam air sampai botol *winkler* penuh dan tutup secara hati-hati.
- Tambahkan 1 mL larutan mangan sulfat (MnSO₄).
- Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen.
- Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak terdapat gelembung udara, kemudian dibolak-balik.
- Gumpalan yang terbentuk dibiarkan mengendap selama 5 – 10 menit.
- Tambahkan 1 mL larutan H₂SO₄ pekat, tutup dan bolak-balik botol beberapa kali sampai endapan hilang.

- Tuang 100 mL air kedalam erlenmeyer 250 mL dengan menggunakan gelas ukur 100 mL.
- Tambahkan 3 – 4 tetes indikator amilum.
- Titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N hingga warna biru hilang pertama kali.
- Hitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus :

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan :

a = Volume titrasi (mL)

N = Normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N)

100 mL = Volume sampel yang digunakan dalam titrasi

4. Prosedur Analisa Warna secara Spektrofotometri

- Penentuan panjang gelombang

Penentuan panjang gelombang dilakukan dengan spektrofotometer. Dilakukan pembacaan blangko dan sampel pada beberapa acuran panjang gelombang dengan rentang panjang gelombang untuk warna merah adalah antara 500 nm – 600 nm (APHA, 2005) hingga didapat panjang gelombang optimum. Prosedur yang dilakukan:

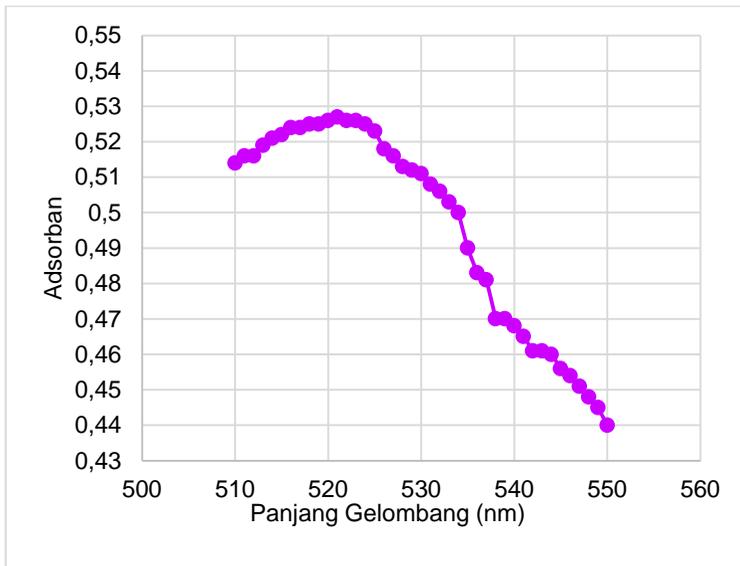
- a) Pengambilan sampel limbah pewarnaan pada kuvet.
- b) Pengaturan panjang gelombang, dimulai dan panjang gelombang 500 nm.
- c) Pengaturan nilai blangko (*aquades*) pada spektrofotometer.
- d) Pembacaan sampel limbah dengan spektrofotometer.
- e) Ulangi prosedur no. c dan d untuk panjang gelombang berbeda hingga 600 nm.
- f) Pembacaan dihentikan setelah terjadi nilai puncak absorbansi.

Tabel LA. 1 Data Kalibrasi Warna

λ (nm)	A
510	0.514
511	0.516

λ (nm)	A
512	0.516
513	0.519
514	0.521
515	0.522
516	0.524
517	0.524
518	0.525
519	0.525
520	0.526
521	0.527
522	0.526
523	0.526
524	0.525
525	0.523
526	0.518
527	0.516
528	0.513
529	0.512
530	0.511
531	0.508
532	0.506
533	0.503
534	0.5
535	0.49
536	0.483
537	0.481
538	0.47
539	0.47

λ (nm)	A
540	0.468
541	0.465
542	0.461
543	0.461
544	0.46
545	0.456
546	0.454
547	0.451
548	0.448
549	0.445
550	0.44



Gambar LA. 1 Kurva Kalibrasi

- Pembuatan kurva kalibrasi

Pada metoda spektrofotometri, sampel yang diukur mempunyai kecenderungan menyerap pancaran dari gelombang elektromagnetik, sehingga pada panjang gelombang tertentu dapat terlihat. Alat spektrofotometer yang digunakan dapat langsung memperlihatkan absorbansi.

Kemudian dengan membuat pembacaan pada beberapa konsentrasi yang diukur absorbansinya pada panjang gelombang tertentu, dapat digambarkan kurva kalibrasi dan persamaan regresinya.

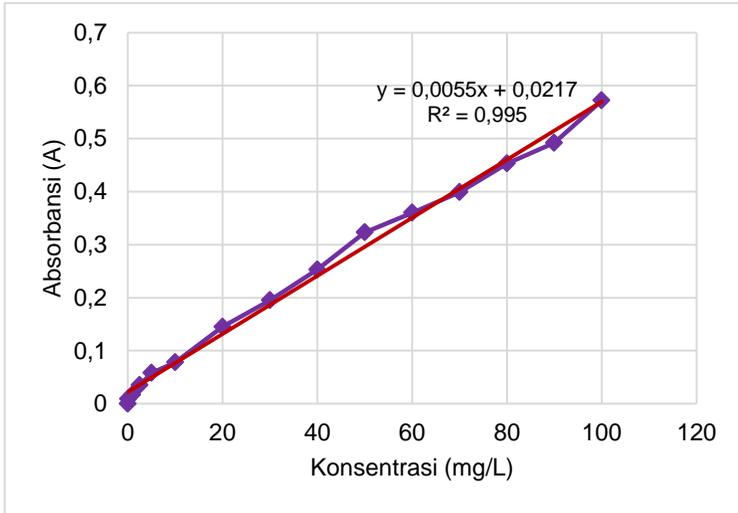
Prosedur pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan langkah berikut:

- Membuat larutan untuk kalibrasi dengan 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 2.5%, 1%, dan 0%.
- Lakukan proses pembacaan pada spektrofotometer.
- Didapatkan nilai absorbansi pada masing-masing konsentrasi.
- Plot kurva kalibrasi pada grafik antara nilai absorbansi dan konsentrasi warna sebagai (mg/l).

Tabel LA. 2 Data Kalibrasi Warna

%	A
100	0.572
90	0.492
80	0.453
70	0.399
60	0.36
50	0.323
40	0.253
30	0.195
20	0.145
10	0.078
5	0.058

%	A
2.5	0.035
1	0.017
0.1	0.009
0	0



Gambar LA. 2 Hasil Regresi

Setelah didapatkan persamaan linier dan regresinya, untuk pembacaan konsentrasi warna pada sampel didapat berdasar nilai absorbansi limbah cair batik yang dimasukkan dalam persamaan kurva kalibrasi.

Pada persamaan linier $y = ax + b$, ditemukan bahwa nilai absorbansi = y , dan nilai konsentrasi warna adalah x

LAMPIRAN B
DATA HASIL ANALISA

Tabel LB. 1 Pengukuran Laju Pertumbuhan *Scirpus grossus*

Hari Ke	Tinggi Tumbuhan	Jumlah Daun	Lebar Sisi Batang
0	0	1	0
2	0.2	1	0.1
4	1.5	1	0.1
6	7.3	2	0.2
8	15	2	0.2
10	19.1	2	0.2
12	21.5	3	0.2
14	27.1	3	0.3
16	36.2	3	0.3
18	43.7	4	0.4
20	56	4	0.4
22	60.3	4	0.4
24	64.7	5	0.4
26	73.1	5	0.5
28	74.5	5	0.5
30	76.5	5	0.6
32	78	6	0.6
34	84	6	0.6
36	87	6	0.7
38	94.8	6	0.8
40	101	6	0.8
42	103	7	0.8
44	105.3	7	0.8

Hari Ke	Tinggi Tumbuhan	Jumlah Daun	Lebar Sisi Batang
46	107.8	7	0.8
48	115.1	7	0.8
50	117.7	7	0.8
52	121.2	7	0.9
54	123.7	7	0.9
56	125.7	7	0.9
58	129.5	8	0.9
60	129.5	8	0.9
62	129.5	8	0.9
64	129.5	8	0.9
66	129.6	8	0.9
68	129.6	8	0.9
70	129.6	8	0.9
72	129.6	8	0.9
74	129.6	8	0.9
76	129.6	8	0.9
78	129.6	8	0.9
80	129.6	8	0.9
82	129.6	8	0.9
84	129.6	8	0.9
86	129.6	8	0.9
88	129.6	8	0.9
90	129.6	8	0.9

Tabel LB. 2 Pengukuran Laju Pertumbuhan *Iris pseudacorus*

Hari Ke	Panjang Tumbuhan	Lebar Daun	Jumlah Daun
0	1.2	0.2	1
4	2.4	0.21	1
8	3.3	0.32	1
12	4.2	0.5	2
16	6	0.6	2
20	8.2	0.7	2
24	9.6	0.7	2
28	11.3	0.79	2
32	13.6	0.8	2
36	15.1	0.8	2
40	17.7	0.83	3
44	19.3	0.89	3
48	20.7	1.2	3
52	22.6	1.35	3
56	28.8	1.4	4
60	32	1.6	4
64	34.5	1.83	4
68	35	1.91	4
72	36.7	2.2	4
76	37.8	2.2	5
80	38	2.3	5
84	39.1	2.4	5
88	41.7	2.4	5
92	46.1	2.5	6
96	48.7	2.6	6

Hari Ke	Panjang Tumbuhan	Lebar Daun	Jumlah Daun
100	49.5	2.71	6
104	51	2.9	6
108	54.3	3.1	7
112	57.1	3.45	7
116	61.2	3.71	7
120	63.7	3.72	7
124	68	4.2	7
128	68	4.2	7
132	68	4.2	7
136	68	4.2	7
140	68	4.2	7
144	68	4.2	7
148	68	4.2	7
152	68	4.2	7
156	68	4.2	7
160	68	4.2	7
164	68	4.2	7
168	68	4.2	7

Tabel LB. 3 Data Analisa COD

Reaktor	<i>Drying ke-1</i>			<i>Drying ke-2</i>			<i>Drying ke-3</i>		
	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)
	Input	Output		Input	Output		Input	Output	
A1	130	84,5	35%	126	75,6	40%	131	48,5	63%
A2	129	82,6	36%	125	68,8	45%	130	26,0	80%
A3	128	86,0	33%	126	46,8	63%	128	25,5	80%
B1	130	103,6	20%	126	80,3	36%	128	48,8	62%
B2	130	97,5	25%	130	74,1	43%	128	44,8	65%
B3	128	86,0	33%	129	45,15	65%	127	42,0	67%
K1 Limbah	128	106,2	17%	127	84,1	34%	128	51,3	60%
K2 Limbah	127	103,2	19%	129	83,85	35%	127	53,13	58%

Lanjutan Tabel LB. 1

Reaktor	<i>Drying ke-4</i>			<i>Drying ke-5</i>			<i>Drying ke-6</i>		
	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi COD (mg/L)		Removal (%)
	Input	Output		Input	Output		Input	Output	
A1	128	21,8	83%	131	26,2	80%	125	26,3	79%
A2	127	22,9	82%	130	24,7	81%	127	25,4	80%
A3	130	19,4	85%	127	20,4	84%	132	21,0	84%
B1	129	23,2	82%	131	26,1	80%	128	28,1	78%
B2	127	21,59	83%	126	23,9	81%	127	24,1	81%
B3	128	14,1	89%	127	14,0	89%	131	15,7	88%
K1 Limbah	130	28,6	78%	126	29,1	77%	131	30,2	77%
K2 Limbah	129	51,7	60%	129	50,31	61%	130	50,7	61%

Tabel LB. 4 Data Analisa BOD

Reaktor	<i>Drying ke-1</i>			<i>Drying ke-2</i>			<i>Drying ke-3</i>		
	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)
	Input	Output		Input	Output		Input	Output	
A1	89	79,7	10%	90	63,0	30%	91	20,1	78%
A2	88	75,7	14%	87	59,2	32%	89	9,8	89%
A3	86	72,9	15%	94	14,1	85%	93	10,2	89%
B1	92	79,4	14%	84	61,3	27%	87	28,0	68%
B2	90	76,5	15%	91	54,6	40%	90	11,7	87%
B3	84	66,8	20%	90	11,7	87%	93	9,3	90%
K1 Limbah	90	82,0	9%	91	78,5	14%	85	34,2	60%
K2 Limbah	85	73,8	13%	93	69,6	25%	92	32,0	65%

Lanjutan Tabel LB. 2

Reaktor	Drying ke-4			Drying ke-5			Drying ke-6		
	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)	Konsentrasi BOD (mg/L)		Removal (%)
	Input	Output		Input	Output		Input	Output	
A1	90	13,5	85%	92	14,7	84%	91	15,4	83%
A2	88	7,9	91%	87	8,7	90%	89	9,8	89%
A3	87	5,2	94%	91	6,4	93%	92	6,4	93%
B1	92	9,2	90%	91	10,0	89%	95	11,4	88%
B2	91	4,6	95%	89	5,3	94%	91	6,4	93%
B3	89	2,7	97%	92	3,7	96%	95	3,8	96%
K1 Limbah	87	21,8	75%	93	18,6	80%	95	20,0	79%
K2 Limbah	86	25,8	70%	91	26,5	71%	95	27,7	71%

Tabel LB. 5 Data Analisa BOD/COD

Reak-tor	Hari ke- 0			Drying ke-1			Drying ke-2			Drying ke-3		
	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD
	BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD	
A1	89	130	0,68	79,7	84,5	0,94	63,0	75,6	0,83	20,1	48,5	0,41
A2	88	129	0,68	75,7	82,6	0,92	59,2	68,8	0,86	9,8	26,0	0,38
A3	86	128	0,67	72,9	86,0	0,85	14,1	46,8	0,30	10,2	25,5	0,40
B1	92	130	0,71	79,4	103,6	0,77	61,3	80,3	0,76	28,0	48,8	0,57
B2	90	130	0,69	76,5	97,5	0,78	54,6	74,1	0,74	11,7	44,8	0,26
B3	84	128	0,65	66,8	86,0	0,78	11,7	45,2	0,26	9,3	42,0	0,22
K1 Limbah	90	128	0,70	82,0	106,2	0,77	78,5	84,1	0,93	34,2	51,3	0,67
K2 Limbah	85	127	0,67	73,8	103,2	0,72	69,6	83,9	0,83	32,0	53,1	0,60

Lanjutan Tabel LB. 3

Reaktor	Drying ke-4			Drying ke-5			Drying ke-6		
	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD
	BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD	
A1	13,5	21,8	0,62	14,7	26,2	0,56	15,4	26,3	0,59
A2	7,9	22,9	0,35	8,7	24,7	0,35	9,8	25,4	0,39
A3	5,2	19,4	0,27	6,4	20,4	0,31	6,4	21,0	0,30
B1	9,2	23,2	0,40	10,0	26,1	0,38	11,4	28,1	0,41
B2	4,6	21,6	0,21	5,3	23,9	0,22	6,4	24,1	0,26
B3	2,7	14,1	0,19	3,7	14,0	0,26	3,8	15,7	0,24
K1 Limbah	21,8	28,6	0,76	18,6	29,1	0,64	20,0	30,2	0,66
K2 Limbah	25,8	51,7	0,50	26,5	50,3	0,53	27,7	50,7	0,55

Tabel LB. 6 Hasil Analisa Warna

Reaktor	Drying ke- 1					Drying ke- 2				
	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)
	(A)	mg/L	(A)	mg/L		(A)	mg/L	(A)	mg/L	
A1	0,261	43,51	0,12	17,40	60%	0,263	43,87	0,09	12,72	71%
A2	0,260	43,33	0,07	9,10	79%	0,262	43,69	0,06	7,86	82%
A3	0,260	43,33	0,07	8,22	81%	0,261	43,51	0,05	5,26	88%
B1	0,259	43,15	0,11	15,53	64%	0,262	43,69	0,09	12,23	72%
B2	0,260	43,33	0,06	7,37	83%	0,260	43,33	0,06	6,07	86%
B3	0,262	43,69	0,05	5,68	87%	0,258	42,96	0,05	4,30	90%
K1 Limbah	0,261	43,51	0,14	21,32	51%	0,262	43,69	0,12	17,91	59%
K2 Limbah	0,259	43,15	0,13	18,98	56%	0,260	43,33	0,11	16,03	63%

Lanjutan Tabel LB.4

Reaktor	Drying ke- 3					Drying ke- 4				
	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)
	(A)	mg/L	(A)	mg/L		(A)	mg/L	(A)	mg/L	
A1	0,258	42,96	0,09	11,60	73%	0,262	43,69	0,08	10,92	75%
A2	0,260	43,33	0,06	6,93	84%	0,261	43,51	0,06	6,09	86%
A3	0,261	43,51	0,05	5,22	88%	0,260	43,33	0,05	4,77	89%
B1	0,263	43,87	0,08	11,41	74%	0,261	43,51	0,08	10,01	77%
B2	0,262	43,69	0,05	5,24	88%	0,259	43,15	0,05	4,75	89%
B3	0,258	42,96	0,04	3,44	92%	0,263	43,87	0,03	2,19	95%
K1 Limbah	0,261	43,51	0,11	15,23	65%	0,259	43,15	0,10	13,81	68%
K2 Limbah	0,263	43,87	0,10	13,60	69%	0,262	43,69	0,09	12,67	71%

Lanjutan Tabel LB.4

Reaktor	Drying ke- 5					Drying ke- 6				
	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)	Inlet		Outlet		Efisiensi removal (%)
	(A)	mg/L	(A)	mg/L		(A)	mg/L	(A)	mg/L	
A1	0,261	43,51	0,07	9,14	79%	0,263	43,87	0,07	8,77	80%
A2	0,258	42,96	0,05	5,59	87%	0,261	43,51	0,05	5,22	88%
A3	0,259	43,15	0,05	4,31	90%	0,260	43,33	0,05	4,33	90%
B1	0,263	43,87	0,07	8,77	80%	0,261	43,51	0,06	7,83	82%
B2	0,262	43,69	0,05	4,37	90%	0,259	43,15	0,04	3,45	92%
B3	0,261	43,51	0,02	0,44	99%	0,259	43,15	0,02	0,43	99%
K1 Limbah	0,258	42,96	0,10	13,75	68%	0,262	43,69	0,09	12,67	71%
K2 Limbah	0,261	43,51	0,09	12,18	72%	0,260	43,33	0,08	10,40	76%

Tabel LB. 7 Hasil Analisa pH

Drying ke	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Kontrol K1 Limbah	Kontrol K2 Limbah
0	8.95	8.1	8.2	9.01	9.05	9.21	9.34	9.55
1	8.17	8.68	8.76	8.3	8.49	8.53	8.86	8.57
2	8.32	8.67	8.82	8.19	8.62	8.74	8.99	9
3	8.32	8.51	8.84	8.05	8.62	8.5	9.12	8.98
4	8.21	8.3	8.5	7.99	8.55	8.54	8.89	8.84
5	8.08	8.21	8.27	8.05	8.2	7.89	8.9	8.64
6	7.85	7.88	7.84	7.88	7.99	7.54	8.76	8.1

Tabel LB. 8 Hasil Analisa Suhu

Drying ke	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Kontrol K1 Limbah	Kontrol K2 Limbah
0	33	32.4	32.8	33	32.3	33.1	32	33
1	32	30.1	30.6	30.7	30.1	30.6	31	31.2
2	29.8	30	30.4	30.7	30.1	30.4	30.1	30.7
3	28.3	28.1	28.1	29.3	29.6	28.1	29.1	29.8
4	30	29.1	29.7	29.7	30.2	29.7	30.2	30.8
5	31.1	31.3	31.5	29.5	30.6	31.5	30.7	30.1
6	30.4	31	30	29.7	30	30	29.9	30

Tabel LB. 9 Hasil Analisa Berat Basah dan Berat Kering

Hari Ke-	Berat Basah		Berat Kering	
	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol
A1				
0	34.6136	34.489	10.2242	10.172
9	36.491	35.57	14.628	11.974
18	41.703	37.506	18.703	13.228
A2				
0	19.8587	19.7890	4.873	4.8700
9	22.824	21.372	9.7683	8.76
18	24.945	23.442	12.654	11.289
<i>A3 Scirpus grossus</i>				
0	34.6134	34.3200	10.213	10.1430
9	35.351	34.359	12.6336	10.987
18	38.908	36.998	20.986	12.532
<i>A3 Iris pseudacorus</i>				
0	19.79	19.5680	5.021	4.6780
9	22.432	20.993	8.657	7.871
18	23.579	21.389	11.0087	10.357
B1				
0	33.998	33.2714	10.0383	10.102
9	37.987	36.14	16.765	13.03
18	46.709	38.981	21.769	17.703
B2				
0	19.897	19.8700	5.001	4.5800
9	23.789	21.53	10.69	5.789
18	26.791	23.458	15.779	7.997
<i>B3 Scirpus grossus</i>				

Hari Ke-	Berat Basah		Berat Kering	
	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol	Reaktor Uji	Reaktor Kontrol
0	34.742	34.3001	11.003	10.7510
9	37.609	35.355	15.79	12.978
18	39.384	37.879	21.759	16.34
<i>B3 Iris pseudacorus</i>				
0	19.812	19.8070	4.997	4.8790
9	21.3106	20.554	9.3221	6.003
18	25.489	22.203	13.258	6.899

Tabel LB. 10 Analisa Tinggi Tumbuhan *Scirpus grossus*

Hari ke-	A1	Kontrol A1	B1	Kontrol B1	A3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol A3 <i>Scirpus grossus</i>	B3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol B3 <i>Scirpus grossus</i>
0	88	86	94	86.4	92.5	86	94.7	86
3	90	86.7	95.4	86.8	92.6	86.7	95.1	87
6	95.6	88.2	97	87.5	92.7	87	95.7	87.1
9	97	88.2	98.1	87.6	92.9	87.2	95.9	87.4
12	97.7	88.9	98.5	87.7	93	88.3	96	89
15	98	88.7	98.6	87.7	93.2	88.6	96.4	89.7
18	98.2	88.7	98.6	87.7	94	88.9	97	90

Tabel LB. 11 Analisa Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus*

Hari ke	A1	Kontrol A1	B1	Kontrol B1	A3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol A3 <i>Scirpus grossus</i>	B3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol B3 <i>Scirpus grossus</i>
0	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
3	0.6	0.6	0.7	0.5	0.57	0.5	0.51	0.65
6	0.6	0.6	0.71	0.51	0.58	0.5	0.52	0.65
9	0.6	0.6	0.72	0.6	0.6	0.5	0.6	0.68
12	0.6	0.6	0.72	0.6	0.61	0.51	0.6	0.7

Hari ke	A1	Kontrol A1	B1	Kontrol B1	A3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol A3 <i>Scirpus grossus</i>	B3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol B3 <i>Scirpus grossus</i>
15	0.61	0.62	0.72	0.65	0.61	0.52	0.62	0.72
18	0.61	0.71	0.72	0.7	0.65	0.55	0.65	0.75

Tabel LB. 12 Analisa Jumlah Daun *Scirpus grossus*

Hari ke	A1	Kontrol A1	B1	Kontrol B1	A3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol A3 <i>Scirpus grossus</i>	B3 <i>Scirpus grossus</i>	Kontrol B3 <i>Scirpus grossus</i>
0	5	6	6	6	6	4	6	5
3	5	6	6	6	6	4	6	5
6	6	6	7	6	6	4	6	6
9	6	6	7	6	6	4	6	6
12	6	6	7	6	6	5	7	7
15	6	6	8	6	6	5	7	7
18	6	6	8	6	6	5	7	7

Tabel LB. 13 Analisa Panjang Tumbuhan *Iris pseudacorus*

Hari ke	A2	Kontrol A2	B2	Kontrol B2	A3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol A3 <i>Iris pseudacorus</i>	B3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol B3 <i>Iris pseudacorus</i>
0	51	43	58	43.3	55	49.5	49.7	45
3	52	43	59.2	43.4	56.2	49.5	51.7	45.1
6	52.4	43.1	59.3	43.5	56.5	50.2	52	45.3
9	53	43.2	59.4	44	56.55	50.5	52.2	45.5
12	54	43.5	59.5	48.2	56.7	51.1	52.3	45.6
15	54.2	44.2	59.5	48.5	57	51.7	52.4	45.8
18	55.1	44.4	60.1	49	57.8	52.3	53	46

Tabel LB. 14 Analisa Lebar Daun *Iris pseudacorus*

Hari ke	A2	Kontrol A2	B2	Kontrol B2	A3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol A3 <i>Iris pseudacorus</i>	B3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol B3 <i>Iris pseudacorus</i>
0	3.2	2.4	3.1	2.5	2.65	2.5	2.6	2.5
3	3.21	2.5	3.3	2.6	2.7	2.6	2.7	2.5
6	3.22	2.6	3.3	2.7	3.1	2.6	2.7	2.6
9	3.25	2.62	3.35	2.7	3.2	2.62	2.8	2.61
12	3.3	2.65	3.35	2.72	3.2	2.7	3.1	2.65
15	3.5	2.66	3.37	2.75	3.3	2.72	3.2	2.66
18	3.5	2.7	4	2.8	3.3	2.8	3.2	2.7

Tabel LB. 15 Analisa Jumlah Daun *Iris pseudacorus*

Hari ke	A2	Kontrol A2	B2	Kontrol B2	A3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol A3 <i>Iris pseudacorus</i>	B3 <i>Iris pseudacorus</i>	Kontrol B3 <i>Iris pseudacorus</i>
0	6	6	5	4	5	6	5	5
3	6	6	6	5	5	6	6	6
6	6	6	6	5	5	6	6	7
9	6	6	6	5	5	7	7	7
12	6	7	6	5	5	7	7	7
15	7	7	6	6	5	7	7	7
18	7	7	6	6	6	7	7	7

**LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN**



Gambar LC. 1 Analisa COD



Gambar LC. 2 Analisa BOD



Gambar LC. 3 Analisa pH dan Suhu



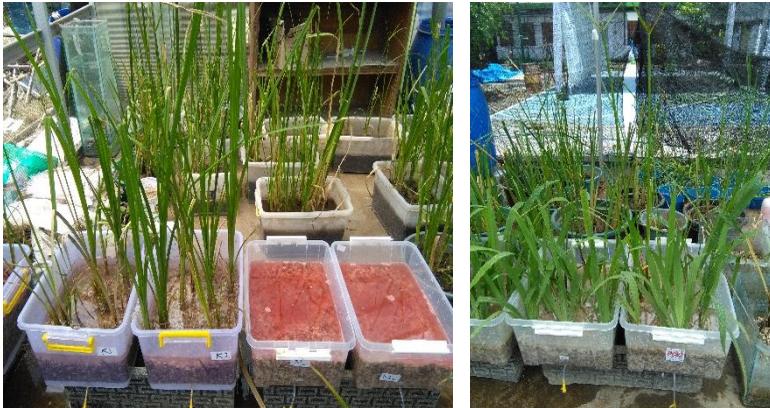
Gambar LC. 4 Analisa Berat Basah dan Berat Kering



Gambar LC. 5 Morfologi *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus*



Gambar LC. 6 Reaktor Uji *Phytotreatment*



Gambar LC. 7 Reaktor Kontrol terhadap Media dan Kontrol Tumbuhan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Dwi Agustiang Ningsih dilahirkan di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 18 Agustus 1995. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pancasila I Warugunung, Mi-Miftahul Ulum Warugunung, SMPN 16 Surabaya dan SMAN 15 Surabaya. Pada Tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Penulis pernah aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan Badan Eksekutif Mahasiswa fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (BEM FTSP ITS) pada tahun 2014-2015 sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat dan sebagai staff Departemen Dalam Negeri. Pada tahun 2015-2016 sebagai Kepala Bidang *Social Development* Departemen Sosial Masyarakat HMTL FTSP ITS. Penulis juga sempat aktif pada Paguyuban Karya Salemba Empat ITS sebagai penerima beasiswa selama 2 tahun masa perkuliahan dan menjabat sebagai sekretaris Departemen Sosial Pendidikan periode 2016-2017. Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Remediasi Lingkungan pada tahun 2015. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan seminar yang diselenggarakan di Jurusan, Institut, Regional dan Nasional. Penulis aktif dalam membuat karya tulis dengan prestasi 2 kali karya tulis didanai DIKTI pada PKM 2015. Pada Tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Pertamina PHE WMO Gresik dibidang pengolahan limbah cair. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka bisa menghubungi penulis melalui email dwiagustiang@gmail.com.