



TUGAS AKHIR - RE 141581

# PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MENGUNAKAN TANAMAN AIR DAN BIOAUGMENTASI BAKTERI

KHONSA ROFIFAH  
NRP. 0321144000090

Dosen Pembimbing  
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, 2018





**TUGAS AKHIR - RE141581**

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN  
TANAMAN AIR DAN BIOAUGMENTASI BAKTERI**

*PHYTOTREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER USING  
AQUATIC PLANT AND BACTERIA BIOAUGMENTATION*

**KHONSA ROFIFAH**  
0321144000090

Dosen Pembimbing  
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.  
19750523 200212 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**Pengolahan Air Limbah Tekstil Menggunakan Tanaman Air**  
**dan Bioaugmentasi Bakteri**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**KHONSA ROFIFAH**  
NRP. 0321144000090

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19750523 200212 2 001











## **PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN TANAMAN AIR DAN BIOAUGMENTASI BAKTERI**

Nama Mahasiswa : Khonsa Rofifah  
NRP : 0321144000090  
Departemen : Departemen Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T.,  
Ph.D.

### **ABSTRAK**

Sebagai salah satu industri dengan pertumbuhan tercepat di Indonesia, limbah industri tekstil dapat menjadi suatu permasalahan, khususnya air limbah yang mengandung zat warna. Dalam lingkungan sehari-hari, zat warna ini dapat menghambat proses fotosintesis alami. Selain itu, hal ini dapat menyebabkan kondisi anaerobik, dan peningkatan BOD. Beberapa pewarna yang umum digunakan adalah rhodamin B, metilen biru, dan metil violet. Zat pewarna ini dapat menyebabkan iritasi saluran cerna jika tertelan, menyebabkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit. Oleh karena itu, pengolahan limbah tekstil diperlukan untuk menghilangkan kontaminan organik, yaitu penyisihan warna (dekolorisasi). Penelitian ini menggunakan metode biologi yang dianggap lebih ramah lingkungan, hemat biaya, dan tidak menghasilkan residu setelah diproses. Metode biologis dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman air serta bioaugmentasi bakteri untuk meningkatkan efisiensi penyisihan warna.

Dalam studi ini, *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* ditambah dengan *Eichornia crassipes* (enceng gondok) *subtilis* untuk menghilangkan rhodamin b, metilen biru, dan metil violet. Konsentrasi zat warna yang digunakan adalah 23 mg / L. Penelitian dilakukan dengan menguji potensi bakteri, 30-hari tahap propagasi, termasuk tahap aklimatisasi selama 7 hari. Percobaan selanjutnya merupakan tahap pengolahan oleh tumbuhan selama 28 hari dengan menganalisis konsentrasi warna serta parameter pendukung, yaitu, suhu, pH, morfologi tanaman,

koloni bakteri, dan analisis sel tumbuhan. Ada tiga reaktor yang digunakan untuk dekolonisasi, yaitu reaktor konsorsium (RA), reaktor kontrol bakteri (RB), dan reaktor kontrol warna (RC).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penghilangan warna rhodamin B oleh konsorsium *E. crassipes* dengan *B. subtilis* mencapai 4,7% dalam 3 hari, sedangkan penghilangan warna metilen biru mencapai 64% dalam 7 hari, dan penghilangan warna metil violet mencapai 84% dalam 5 hari. Sedangkan penghilangan warna rhodamin B oleh konsorsium *E. crassipes* dengan *P. aeruginosa* mencapai 16% dalam 2 hari, sedangkan warna warna biru metilen mencapai 74% dalam 2 hari, dan penghilangan warna metil violet mencapai 71% dalam 2 hari. Berdasarkan hasil ini, bioaugmentasi bakteri memiliki dampak yang besar dan lebih efektif daripada menggunakan bakteri tunggal atau tanpa perlakuan apa pun.

**Kata Kunci : *Bacillus subtilis*, Dekolorisasi, *Eichornia crassipes*, Limbah Tekstil, *Pseudomonas aeruginosa***

## TEXTILE WASTEWATER TREATMENT USING AQUATIC PLANT AND BACTERIA BIOAUGMENTATION

Name : Khonsa Rofifah  
NRP : 0321144000090  
Department : Departemen Teknik Lingkungan  
Supervisor : Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T.,  
Ph.D.

### **ABSTRACT**

*As one of the fastest growing industries in Indonesia, textile industry provides challenges on wastewater treatment, in particular dyes containing wastewater. In the nment, these dyes may inhibit the natural photosynthesis process. This leads to anaerobic and unpleasant conditions, and an increasing of BOD. Several dyes that commonly used are rhodamine B, methylene blue, and methyl violet. These dyes may cause irritation of gastrointestinal tract if swallowed, cause cyanosis if inhaled, and irritation of the skin if touched by the skin. Therefore, treatment of textile wastewater is required in order to remove organic contaminants, i.e., dyes degradation (decolorization). This study uses biological method which are considered to be more environmentally friendly, cost-effective, and do not produce residues after processing. Biological method conducted by consortium which involves plants and bacteria bioaugmentation in order to increase the treatment efficiency.*

*In this study, Bacillus subtilis and Pseudomonas aeruginosa were augmented with Eichornia crassipes (water hyacinth) subtilis to remove Rhodamine B, Methylene Blue, and Methyl Violet. The dye concentration used was 23 mg / L. Research was done by testing the potential of bacteria, 30-days plant propagation, including 7-days acclimatization stage. Further experiment includes a 28-day decolorization step by analyzing color intensity or concentration as well as supporting parameters. i.e., temperature, pH, plant morphology, bacterial colonies, and plant cell analysis. There were three reactors used for this study, i.e.,*

consortium reactor (RA), bacteria control reactor (RB), and color control reactor (RC).

The results showed that color removal of rhodamine B by consortium *E. crassipes* with *B. subtilis* reached 4,7% by 3 days, while color removal of methylene blue reached 64% by 7 days, and color removal of metyhl violet reached 84% by 5 days. Meanwhile the color removal of rhodamine B by consortium *E. crassipes* with *P. aeruginosa* reached 16% by 2 days, while color removal of methylene blue reached 74% by 2 days, and color removal of methyl violet reached 71% by 2 days. Based on these results, the bioaugmentation of bacteria has a great impact and way more effective than using single bacteria or without any treatment.

**Keywords: *Bacillus subtilis*, Decolorization, *Eichornia crassipes*, Textile Waste, *Pseudomonas aeruginosa***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Dekolorisasi Air Limbah Tekstil Secara Biologis Menggunakan Konsorsium Tumbuhan Air Dengan Bakteri Tunggal”.

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

1. Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT, Ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD, dan Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES selaku dosen pengarah 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 dan Ibu Merri selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium
5. Devita Yulisa Simanjuntak, Malik Berlianto, Patricia Agnes Hutabarat, Gilang Rheza Mahardika, Adriana Obenu, Anindita Sari P, Amanda Herrena yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	I
ABSTRACT .....	III
KATA PENGANTAR .....	V
DAFTAR ISI .....	VII
DAFTAR TABEL .....	IX
DAFTAR GAMBAR .....	XI
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan .....	4
1.4. Ruang Lingkup .....	5
1.5. Manfaat .....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Karakteristik Air Limbah Tekstil .....	7
2.2. Zat Warna Tekstil .....	7
2.2.1. Zat Warna Rhodamin B .....	9
2.2.2. Zat Warna Metilen Biru .....	10
2.2.3. Zat Warna Metil Violet .....	10
2.3. Proses Produksi Limbah Tekstil .....	11
2.4. Dekolorisasi Zat Warna secara Biologis .....	12
2.4.1. Dekolorisasi dengan Fitoremediasi .....	13
2.4.2. Dekolorisasi dengan Bakteri .....	14
2.5. Mekanisme Antara Mikroorganisme dengan Tumbuhan .....	15
2.6. <i>Eichornia crassipes</i> .....	16
2.7. Kerapatan Tanaman .....	17
2.8. Tinjauan Umum Bakteri .....	18
2.9. Penelitian Terdahulu .....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	25
3.1. Umum .....	25
3.2. Kerangka Penelitian .....	26
3.3. Tahapan Penelitian .....	26
3.3.1. Ide Penelitian .....	26

3.3.2. Studi Pustaka .....	28
3.3.3. Penentuan Parameter dan Variabel .....	28
3.3.4. Persiapan Alat dan Bahan .....	29
3.3.5. Penelitian Pendahuluan .....	36
3.3.6. Penelitian Utama.....	37
3.4. Analisis dan Pembahasan .....	40
3.5. Kesimpulan dan Saran.....	41
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1. Uji Potensi Bakteri.....	43
4.2. Tahap Propagasi Tumbuhan .....	45
4.3. Tahap Aklimatisasi Tumbuhan.....	47
4.4. Tahap Pengolahan oleh tumbuhan.....	47
4.5. Analisis Konsentrasi Warna .....	50
4.5.1. Analisis Konsentrasi Warna Rhodamin B.....	51
4.5.2. Analisis Konsentrasi Warna Metilen Biru.....	54
4.5.3. Analisis Konsentrasi Warna Metil Violet .....	58
4.6. Analisis Hasil CFU .....	62
4.7. Analisis pH .....	67
4.8. Analisis Suhu .....	71
4.9. Analisis Morfologi Tumbuhan.....	74
4.10. Analisis Berat Basah (BB) dan Berat Kering (BK).....	76
4.11. <i>Plant Cell Analysis</i> .....	78
4.12. Analisis Statistik.....	82
BAB 5 KESIMPULAN .....	87
5.1. Kesimpulan .....	87
5.2. Saran .....	88
BAB 6 DAFTAR PUSTAKA .....	89
LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM .....	101
LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISIS.....	105
BIOGRAFI PENULIS .....	139



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penggolongan Zat Warna Berdasarkan Sifat dan Cara Pencelupan.....	8
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu .....	23
Tabel 3. 1 Rincian Reaktor yang Digunakan Selama Tahap pengolahan oleh tumbuhan .....	31
Tabel 4. 1 Hasil Uji Potensi Bakteri .....	45
Tabel 4. 2 Hasil PCA <i>E. crassipes</i> pada Pewarna Rhodamin B ..	79
Tabel 4. 3 Hasil PCA <i>E. crassipes</i> pada Pewarna Metilen Biru ..	80
Tabel 4. 4 Hasil PCA <i>E. crassipes</i> pada Pewarna Metil Violet ...	81
Tabel LA. 1 Data Kalibrasi Warna Rhodamin B .....	102
Tabel LA. 2 Data Kalibrasi Metilen Biru.....	103
Tabel LA. 3 Data Kalibrasi Metil Violet .....	104
Tabel LB. 1 Uji Potensi Bakteri <i>B. subtilis</i> pada Rhodamin B ...	105
Tabel LB. 2 Uji Potensi Bakteri <i>B. subtilis</i> pada Metilen Biru ....	105
Tabel LB. 3 Uji Potensi Bakteri <i>B. subtilis</i> pada Metil Violet .....	105
Tabel LB. 4 Lebar Daun <i>E. crassipes</i> .....	106
Tabel LB. 5 Analisis Warna Rhodamin B variabel Bakteri <i>B. subtilis</i> .....	107
Tabel LB. 6 Analisis Warna Rhodamin B variabel Bakteri <i>P. aeruginosa</i> .....	108
Tabel LB. 7 Analisis Warna Metilen Biru Variabel Bakteri <i>B. subtilis</i> .....	109
Tabel LB. 8 Analisis Warna Metilen Biru Variabel Bakteri <i>P. aeruginosa</i> .....	110
Tabel LB. 9 Analisis Warna Metil Violet Variabel <i>B. subtilis</i> .....	111
Tabel LB. 10 Analisis Warna Metil Violet Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	112
Tabel LB. 11 Efisiensi Penyisihan Warna Rhodamin B <i>B. subtilis</i> .....	113
Tabel LB. 12 Efisiensi Penyisihan Warna Rhodamin B <i>P. aeruginosa</i> .....	113
Tabel LB. 13 Efisiensi Penyisihan Warna Metilen Biru <i>B. subtilis</i> .....	114
Tabel LB. 14 Efisiensi Penyisihan Warna Metilen Biru <i>P. aeruginosa</i> .....	114
Tabel LB. 15 Efisiensi Penyisihan Warna Metil Violet <i>B. subtilis</i> .....	115

Tabel LB. 16 Efisiensi Penyisihan Warna Metil Violet <i>P. aeruginosa</i>	115
Tabel LB. 17 pH Reaktor Metil Violet Variabel <i>B. subtilis</i>	116
Tabel LB. 18 pH Reaktor Metil Violet Variabel <i>P. aeruginosa</i>	117
Tabel LB. 19 pH Reaktor Metilen Biru Variabel <i>B. subtilis</i>	118
Tabel LB. 20 pH Reaktor Metilen Biru Variabel <i>P. aeruginosa</i>	119
Tabel LB. 21 pH Reaktor Rhodamin B Variabel <i>B. subtilis</i>	120
Tabel LB. 22 pH Reaktor Rhodamin B Variabel <i>P. aeruginosa</i>	121
Tabel LB. 23 Analisis Suhu pada Reaktor Variabel <i>B. subtilis</i>	122
Tabel LB. 24 Analisis Suhu pada Reaktor Variabel <i>P. aeruginosa</i>	124
Tabel LB. 25 Analisis CFU Hari ke-0 Variabel <i>B. subtilis</i>	126
Tabel LB. 26 Analisis CFU Hari ke-7 Variabel <i>B. subtilis</i>	127
Tabel LB. 27 Analisis CFU Hari ke-14 Variabel <i>B. subtilis</i>	128
Tabel LB. 28 Analisis CFU Hari ke-21 Variabel <i>B. subtilis</i>	129
Tabel LB. 29 Analisis CFU Hari ke-28 Variabel <i>B. subtilis</i>	130
Tabel LB. 30 Analisis CFU Hari ke-0 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	131
Tabel LB. 31 Analisis CFU Hari ke-7 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	132
Tabel LB. 32 Analisis CFU Hari ke-14 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	133
Tabel LB. 33 Analisis CFU Hari ke-21 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	134
Tabel LB. 34 Analisis CFU Hari ke-28 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	135
Tabel LB. 35 Analisis Morfologi Variabel <i>B. subtilis</i>	136
Tabel LB. 36 Analisis Morfologi Variabel <i>P. aeruginosa</i>	137
Tabel LB. 37 Variabel <i>B. subtilis</i>	138
Tabel LB. 38 Variabel <i>P. aeruginosa</i>	138

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia Rhodamin B .....	9
Gambar 2. 2 Struktur Kimia Metilen Biru .....	10
Gambar 2. 3 Struktur Kimia Metil Violet .....	11
Gambar 2. 4 Proses pencelupan kain dan karakteristik limbah tekstil.....	12
Gambar 2. 5 Mekanisme Enzim Bakteri dalam Proses Dekolorisasi .....	15
Gambar 2. 6 <i>Eichornia crassipes</i> .....	17
Gambar 2. 7 <i>Bacillus subtilis</i> .....	20
Gambar 2. 8 Grafik Pertumbuhan <i>Bacillus subtilis</i> .....	21
Gambar 2. 9 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	21
Gambar 2. 10 Grafik Pertumbuhan <i>Pseudomonas aeruginosa</i> strains 568 (putih) dan 548 (hitam) .....	22
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian .....	27
Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian .....	27
Gambar 3. 3 Reaktor Tahap pengolahan oleh tumbuhan.....	30
Gambar 3. 4 Media Cair untuk Uji Potensi Bakteri.....	34
Gambar 3. 5 Media NB yang telah diinokulasi .....	35
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji Potensi Bakteri .....	43
Gambar 4. 2 Reaktor Uji Pendahuluan .....	44
Gambar 4. 3 Reaktor Propagasi.....	46
Gambar 4. 4 Grafik Lebar Daun Tahap Propagasi .....	47
Gambar 4. 5 Kondisi Reaktor .....	50
Gambar 4. 6 Persentase Penyisihan Warna Rhodamin B .....	52
Gambar 4. 7 Rhodamin B pada RA (a) ; Rhodamin B pada RB (b) ; Rhodamin B pada RC (c) .....	52
Gambar 4. 8 Persentase Penyisihan Rhodamin B.....	53
Gambar 4. 9 Rhodamin B pada RA (a) ; Rhodamin B pada RB (b) ; Rhodamin B pada RC (c) .....	54
Gambar 4. 10 Persentase Penyisihan Metilen Biru .....	54
Gambar 4. 11 Metilen Biru pada RA (a) ; Metilen Biru pada RB (b) ; Metilen Biru pada RC (c) .....	55
Gambar 4. 12 Persentase Penyisihan Warna Metilen Biru .....	56
Gambar 4. 13 Metilen Biru pada RA (a) ; Metilen Biru pada RB (b) ; Metilen Biru pada RC (c) .....	57
Gambar 4. 14 Persentase Penyisihan Warna Metil Violet .....	58

Gambar 4. 15 Metil Violet pada RA (a) ; Metil Violet pada RB (b) ; Metil Violet pada RC (c).....	59
Gambar 4. 16 Persentase Penyisihan Warna Metil Violet .....	60
Gambar 4. 17 Metil Violet pada RA (a) ; Metil Violet pada RB (b) ; Metil Violet pada RC (c).....	61
Gambar 4. 18 Koloni yang Terbentuk pada Media Selektif.....	62
Gambar 4. 19 Log Uji CFU B. subtilis pada Rhodamin B.....	63
Gambar 4. 20 Log Uji CFU P. aeruginosa pada Rhodamin B....	64
Gambar 4. 21 Log Uji CFU B. subtilis pada Metilen Biru .....	65
Gambar 4. 22 Log Uji CFU P. aeruginosa pada Metilen Biru.....	65
Gambar 4. 23 Log Uji CFU B. subtilis pada Metil Violet.....	66
Gambar 4. 24 Log Uji CFU P. aeruginosa pada Metil Violet.....	66
Gambar 4. 25 Grafik pH pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel B. subtilis .....	68
Gambar 4. 26 Grafik pH pada Reaktor Metilen Biru dengan Variabel B. subtilis .....	68
Gambar 4. 27 Grafik pH pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel B. subtilis .....	69
Gambar 4. 28 Grafik pH pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel P. aeruginosa .....	69
Gambar 4. 29 Grafik pH pada Reaktor Metilen Biru dengan Variabel P. aeruginosa .....	70
Gambar 4. 30 Grafik pH pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel P. aeruginosa.....	70
Gambar 4. 31 Suhu pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel Bakteri B. subtilis .....	71
Gambar 4. 32 Suhu pada Reaktor Metilen Biru dengan Variabel Bakteri B. subtilis .....	72
Gambar 4. 33 Suhu pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel Bakteri B. subtilis .....	72
Gambar 4. 34 Suhu pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel Bakteri P. aeruginosa .....	73
Gambar 4. 35 Suhu pada Reaktor Metilen Biru dengan Variabel Bakteri P. aeruginosa .....	73
Gambar 4. 36 Suhu pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel Bakteri P. aeruginosa .....	74
Gambar 4. 37 Lebar Daun E. crassipes pada RA dengan Variabel B. subtilis .....	75

Gambar 4. 38 Lebar Daun <i>E. crassipes</i> pada RA dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	75
Gambar 4. 39 Jumlah Daun <i>E. crassipes</i> pada RA dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	76
Gambar 4. 40 Jumlah Daun <i>E. crassipes</i> pada RA dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	76
Gambar 4. 41 Berat Basah dan Berat Kering <i>E. crassipes</i> dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	77
Gambar 4. 42 Berat Basah dan Berat Kering <i>E. crassipes</i> dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	77
Gambar 4. 43 Hasil Uji ANOVA Rhodamin B dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	83
Gambar 4. 44 Hasil Uji ANOVA Rhodamin B dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	83
Gambar 4. 45 Hasil Uji ANOVA Metilen Biru dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	83
Gambar 4. 46 Hasil Uji ANOVA Metilen Biru dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	84
Gambar 4. 47 Hasil Uji ANOVA Metil Violet dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	84
Gambar 4. 48 Tukey Method Metil Violet dengan Variabel <i>B. subtilis</i> .....	85
Gambar 4. 49 Hasil Uji ANOVA Metil Violet dengan Variabel <i>P. aeruginosa</i> .....	85
Gambar LA. 1 Kurva Kalibrasi Rhodamin B .....	102
Gambar LA. 2 Kurva Kalibrasi Metilen Biru .....	103
Gambar LA. 3 Kurva Kalibrasi Metil Violet .....	104

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman dan perekonomian Indonesia, semakin luas pula industri yang dikembangkan di Indonesia. Salah satu industri besar yang terus berkembang adalah industri tekstil. Perkembangan industri ini tidak menutup kenyataan bahwa proses produksi akan menghasilkan produk sampingan berupa limbah. Salah satu limbah yang dihasilkan dari industri tekstil adalah limbah cair yang umumnya banyak mengandung material organik, berbau juga berwarna (Astirin dan Winarno, 2000).

Berbagai macam pewarna yang digunakan pada industri tekstil. Berbagai pewarna golongan kationik seperti metilen biru, sering digunakan dalam pewarnaan tekstil, produksi cat, dan pewarna wol (Rahman *et al.*, 2012). Selain metilen biru, terdapat rhodamin B (RhB) yang banyak digunakan untuk mewarnai sutra, katun, wol, kulit, dan kertas (Khan *et al.*, 2013), dan metil yang merupakan salah satu zat pewarna tekstil. Metil violet memberikan warna ungu untuk tekstil, cat, dan juga tinta (Fatin, 2015). Pada umumnya, pencemaran air oleh industri batik bersumber dari proses pencelupan warna. Bentuk pencemar lain pada industri batik berupa fenol yang berasal dari lilin/malam serta penggunaan bahan pembantu seperti minyak tanah (Astirin dan Winarno, 2000). Selama proses pencelupan, sekitar 10-15% pewarna dilepaskan ke dalam badan air, menyebabkan bahaya yang serius terhadap lingkungan dan kesehatan (Chen *et al.*, 2003).

Pada badan air, zat pewarna dapat menghambat berjalannya proses fotosintesis akibat menghalangi sinar matahari, menimbulkan kondisi anaerobik pada badan air (Robinson, 2001). Beberapa zat perwarna azo bersifat toksik, karsinogenik, mutagenik, dan berbahaya bagi kesehatan manusia (Nilsson *et al.*, 1993). Metilen biru dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui dan Chiha, 2007). Sedangkan rhodamin B dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, pernapasan, dan pencernaan (Khan, 2013) dan metil violet memiliki sifat persisten, sulit dibiodegradasi dan

mengandung senyawa anilin yang bersifat toksik, mutagenik dan karsinogen (Sanjaya *et al.*, 2018). Oleh sebab itu diperlukan sebuah pengolahan limbah cair untuk menyisihkan zat pewarna (dekolorisasi).

Berbagai macam proses dekolorisasi telah dilakukan secara kimiawi seperti ozonasi, *photochemical*, *electrochemical destruction* dan secara fisika seperti oksidasi-reduksi, presipitasi, flokulasi, fotolisis, dan *reverse osmosis*, namun teknologi tersebut cenderung mahal, tidak aplikatif pada berbagai macam zat pewarna, dan kurang efisien dalam penyisihannya (Ganesh *et al.*, 2011). Metode fisika dan kimia pada umumnya memerlukan biaya yang sangat tinggi, berpotensi menghasilkan produk seperti lumpur pada prosesnya (Robinson *et al.*, 2001), serta keberadaan unsur lain pada air dapat menghambat proses pengolahan (Zee dan Villaverde, 2005).

Metode dekolorisasi secara biologi merupakan metode alternatif yang lebih menguntungkan karena lebih sederhana, murah, ramah lingkungan, tidak menghasilkan limbah sekunder berupa sedimentasi lumpur dalam jumlah besar (Aziziah, 2008), produk akhir tidak bersifat toksik dan termineralisasi secara komplit, dan pemakaian air yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode fisik-kimia. Dekolorisasi zat warna secara biologis dapat dilakukan dengan menggunakan jamur, ragi, alga, tumbuhan (fitoremediasi), dan bakteri (Saratale *et al.*, 2011).

Terdapat beberapa penelitian mengenai dekolorisasi yang dilakukan oleh mikroorganisme seperti bakteri. Beberapa penelitian yang pernah langsung menggunakan sumber isolat dari limbah tersebut mendapatkan mikroorganisme berikut : *Proteus sp.*, *Aeromonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Micrococcus sp* (Rajee dan Patterson, 2011). *Bacillus subtilis* diketahui juga dapat melakukan dekolorisasi terhadap *Disperse Yellow 211* sebesar 80% (Sharma *et al.*, 2009), *Fast Red* sebesar 99% (Mabrouk dan Yusef, 2008). *Pseudomonas sp* tersebar luas di alam dan bersifat dominan. *P. putida*, *P. fluorescens*, *P. aeruginosa* merupakan jenis bakteri *Pseudomonas* yang sering digunakan sebagai agen bioremediasi limbah pewarna (zat warna azo, methyl orange, blue RR serta black B) dan logam berat (Shah, 2013). Namun, tingginya biaya isolasi dan pemurnian enzim, dan sifat enzim yang tidak stabil saat dikeluarkan dari lingkungan alami



membatasi penggunaan bakteri secara ekstensif. Oleh karena itu sangat dibutuhkan sebuah pembaharuan untuk penanganan berbagai jenis air limbah yang efisien, ramah lingkungan, dan biaya operasi yang relatif rendah (Kabra *et al.*, 2013).

Selain bakteri, Berbagai macam tumbuhan dapat digunakan untuk melakukan remediasi terhadap limbah tekstil seperti *Phragmites australis* (Davies *et al.*, 2005), *Typha angustifolia* (Nilratnisakorn *et al.*, 2007), *Blumea malcolmii* (Kagalkar *et al.*, 2009), dan *Eichornia crassipes* (Herrena, 2017). Berdasarkan habitatnya, tumbuhan air dinilai lebih efektif dalam pengolahan air limbah dibandingkan dengan tanaman lainnya karena pertumbuhan mereka lebih cepat dan produksi biomassa yang lebih besar. Kemampuannya relatif lebih tinggi daripada penyerapan polutan karena, kontak langsung dengan air yang terkontaminasi (Dhir *et al.*, 2009 ; Dhote dan Dixit 2009).

Pada penelitian Tan *et al.* (2016) yang menggunakan tumbuhan air *Eichornia crassipes* menunjukkan efisiensi penyisihan warna metilen biru sebesar 98,42 % dan metilen orange 66,80 %. Sedangkan pada penelitian Herrena (2017) tumbuhan *Eichornia crassipes* dapat menyisihkan warna metilen biru hingga 59 %, warna rhodamin B hingga 52 %, dan metil violet sebesar 51 %. Namun, pada aplikasinya di lapangan fitoremediasi masih menghadapi beberapa kendala terhadap kontaminan, seperti penyerapan, fitotoksisitas (Gerhardt *et al.*, 2009) dan evapotranspirasi (Weyens *et al.*, 2009).

Beberapa penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi remediasi dengan melakukan bioaugmentasi bakteri terhadap tumbuhan sehingga terjadi konsorsium dan sinergitas antara bakteri dan tumbuhan. Sinergitas antara tumbuhan dan bakteri, proses degradasi tanah yang terkontaminasi hidrokarbon menjadi lebih efisien dibandingkan dengan remediasi dengan bakteri dan fitoremediasi (Khan *et al.*, 2013). Pada penelitian remediasi limbah tekstil Kabra *et al.*(2013) yaitu menunjukkan efisiensi penyisihan warna dengan augmentasi bakteri *Pseudomonas montelli* adalah 42%, efisiensi fitoremediasi dengan *Glandularia pulchella* adalah 62%, dan konsorsium antara *P. montelli* dan *Glandularia pilchella* menunjukkan efisiensi penyisihan warna hingga 93%.

Penelitian ini menggunakan tumbuhan air *Eichornia crassipes* atau yang biasa dikenal dengan tumbuhan enceng

gondok. *Eichornia crassipes* (enceng gondok) memiliki kelebihan, yaitu memiliki sifat hiper akumulator sehingga mampu menyerap bahan terlarut dan tersuspensi dari air (Yuliani *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian Herrena (2017), ditemukan bahwa efisiensi penyisihan warna Rhodamin B, metilen biru, dan metil violet oleh *E. crassipes* masih di bawah 60%. Oleh karena itu, pada penelitian bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa* akan diaugmentasi secara tunggal ke dalam reaktor sistem *batch* yang berisi media berupa zat pewarna dan *E. crassipes*, sehingga dapat dianalisis pengaruh dari bioaugmentasi bakteri terhadap nilai efisiensi penyisihan warna.

## 1.2. Perumusan Masalah

Efisiensi penyisihan zat pewarna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet melalui fitoremediasi oleh tumbuhan air *Eichornia crassipes* pada penelitian sebelumnya (Herrena, 2017) belum menunjukkan nilai yang optimum, maka perlu ditentukan berapakah nilai efisiensi penyisihan warna apabila dilakukan bioaugmentasi *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* secara tunggal dengan *E. crassipes*. Perlu dilakukan juga pengamatan pengaruh dari penambahan bakteri *P. aeruginosa* dan *B. subtilis* di dalam reaktor berisi zat pewarna terhadap morfologi *E. crassipes*.

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan potensi bakteri dalam menyisihkan warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet
2. Menentukan pengaruh penambahan bakteri *B. subtilis* dan *P. aeruginosa* terhadap jaringan tumbuhan *E. crassipes*.di dalam reaktor berisi zat warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet
3. Menentukan nilai efisiensi penyisihan warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet oleh interaksi tumbuhan air *E. crassipes* dengan bakteri *Bacillus subtilis* dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*.

#### 1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Laboratorium Teknik Pengolahan Air, dan Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS.
3. Penelitian pendahuluan berupa tahap propagasi, tahap aklimatisasi, dan uji potensi bakteri. Tahap *range finding test* mengacu kepada penelitian sebelumnya, yaitu dengan konsentrasi maksimal 70 mg/L (Herrena, 2017).
4. Variabel yang digunakan jenis bakteri yaitu *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* dimana masing-masing dilibatkan dengan tumbuhan air *Eichornia crassipes* dalam kondisi *single plant* dengan sistem *batch* dan menggunakan larutan warna yaitu rhodamin B, metilen biru, dan metil violet yang dilarutkan dalam air PDAM.
5. Pada tahap pengolahan oleh tumbuhan, konsentrasi zat pewarna pada reaktor mengacu pada penelitian sebelumnya, yaitu 23 mg/L (Herrena, 2017).
6. Pada tahap pengolahan oleh tumbuhan terdapat tiga reaktor kontrol yaitu reaktor kontrol tumbuhan tanpa larutan warna, reaktor larutan warna tanpa tumbuhan dan bakteri, reaktor kontrol bakteri dengan larutan warna.
7. Parameter utama pada tahap pengolahan oleh tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi warna. Parameter pendukung yang digunakan adalah berat basah, berat kering, pH dan suhu, jumlah koloni bakteri dengan metode *Colony Forming Unit* (CFU), dan morfologi tumbuhan.
8. Morfologi tumbuhan yang diamati secara langsung berupa lebar daun dan jumlah daun *E. crassipes*, sedangkan pengamatan sel pada akar, daun, dan batang dilakukan dengan *Plant Cell Analysis*.

### 1.5. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

- a. Sebagai alternatif pengolahan yang dapat digunakan untuk menyisihkan warna (dekolorisasi), khususnya pada media air.
- b. Sebagai referensi penelitian lanjutan terkait dekolorisasi dengan fitoremediasi, khususnya tanaman *Eichornia crassipes*.
- c. Sebagai referensi penelitian lanjutan terkait biodekolorisasi menggunakan bakteri, khususnya *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*.
- d. Sebagai referensi penelitian tentang remediasi dengan metode bioaugmentasi bakteri pada pengolahan oleh tumbuhan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Karakteristik Air Limbah Tekstil**

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang sangat berkembang di Indonesia. Potensinya yang besar membuat industri ini menjamur di berbagai macam daerah. Seperti pada industri lainnya, tentunya industri tekstil juga menghasilkan produk sampingan berupa produk bekas pakai atau tidak digunakan lagi sehingga dapat dikategorikan sebagai limbah. Limbah yang dihasilkan pada industri tekstil dapat berupa limbah padat seperti benang, serat kain, dan sampah dari produksi, dan juga limbah cair seperti zat warna tekstil.

Beberapa karakteristik air limbah tekstil adalah memiliki zat warna yang kuat, memiliki salinitas yang tinggi, memiliki temperatur yang tinggi, pH yang bervariasi dan memiliki kandungan COD yang tinggi (Mantzavinou dan Psillakis, 2004). Selain itu, limbah tekstil juga mempunyai intensitas warna berkisar 50-2500 skala Pt-Co, nilai COD 150-12000 mg/L, TSS 15-8000 mg/L, TDS 2900-3100 mg/L, Chloride 1000-1600 mg/L) dan nilai BOD mencapai 80- 6000 mg/L (Kdasi, *et al.*, 2004).

Tingginya intensitas warna pada air limbah tekstil disebabkan karena sekitar 40% dari zat warna reaktif azo yang digunakan dalam proses pencelupan kain terbuang sebagai limbah sedangkan kandungan bahan organik sangat tinggi terkait dengan bahan-bahan yang digunakan dalam proses tekstil seperti enzim, detergen, zat warna dan bahan-bahan tambahan lainnya (Sastrawidana *et al.*, 2008).

Parameter COD dan BOD yang dimiliki air limbah tekstil jauh di atas baku mutu jika ditinjau dari KepMen LH No.51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri yaitu 100-300 mg/L untuk COD dan 50-150 mg/L untuk BOD. Untuk itu, air limbah industri tekstil harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

#### **2.2. Zat Warna Tekstil**

Limbah tekstil mengandung bahan-bahan yang berbahaya bila di buang ke lingkungan, terutama daerah perairan. Sebagian

besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna, terutama zat warna sintetik. Zat warna sintetik merupakan molekul yang mempunyai gugus kromofor, sistem elektron dekolisasi dengan ikatan rangkap konjugasi, dan gugus auksokrom (Zee, 2002). Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik yang tidak jenuh (golongan aromatik, seperti : benzena, toluena, fenol, piridina, dll), mempunyai gugus kromofor sebagai pembawa warna, seperti : azo, nitro, nitroso dan karbonil dan gugus auksokrom sebagai pengikat antara warna dengan serat, seperti : gugus hidroksil, karboksil, sulfonat, dll (Ismorningsih dalam Rosyida dan Zulfiya, 2013).

Penggolongan zat warna berdasarkan sifat dan cara pencelupannya dapat dilihat pada Tabel 2.1

**Tabel 2. 1 Penggolongan Zat Warna Berdasarkan Sifat dan Cara Pencelupan**

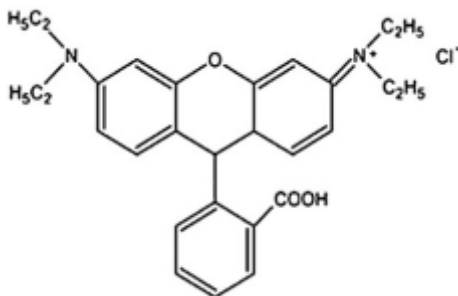
Golongan Zat Warna	Sifat
Zat warna <i>direct</i>	Mempunyai daya ikat dengan serat selulosa, pencelupan dilakukan secara langsung dalam larutan dengan zat-zat tambahan yang sesuai.
Zat warna <i>mordant</i>	Mempunyai daya ikat yang lemah dengan serat. Pada proses pencelupan biasanya dilakukan dengan penambahan krom pada zat warna sehingga membentuk kompleks logam.
Zat warna <i>reactive</i>	Mempunyai gugus reaktif yang dapat membentuk ikatan kovalen kuat dengan serat selulosa, protein, poliamida dan polyester, dilakukan pada suhu rendah dan tinggi.
Zat warna penguat	Mempunyai daya ikat yang kuat dengan serat selulosa, warna terbentuk dalam serat setelah ditambahkan garam penguatnya.
Zat warna asam	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein dan poliamida. Pencelupan dilakukan pada kondisi asam dan secara langsung ditambahkan pada serat.
Zat warna basa	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein. Pencelupan dilakukan pada kondisi basa dan secara langsung ditambahkan pada serat.

Zat warna belerang	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat selulosa. Pada gugus sampingnya mengandung belerang yang mampu berikatan kuat dengan serat.
--------------------	---

Sumber : Zille, 2005

### 2.2.1. Zat Warna Rhodamin B

Rhodamin B adalah pewarna yang banyak digunakan di industri tekstil untuk mewarnai sutra, wol, kulit rami dan kapas. Zat ini dapat menyebabkan efek karsinogenik dan teratogenik pada kesehatan masyarakat (Cuiping *et al.*, 2011). Rumus Molekul dari Rhodamin B adalah  $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$  dengan berat molekul sebesar 479.000. Zat yang sangat dilarang penggunaannya dalam makanan ini berbentuk kristal hijau atau serbuk ungu-kemerah – merahan, sangat larut dalam air yang akan menghasilkan warna merah kebiru-biruan dan berfluorensi kuat. Rhodamin B juga merupakan zat yang larut dalam alkohol, HCl, dan NaOH, selain dalam air.



**Gambar 2. 1 Struktur Kimia Rhodamin B**

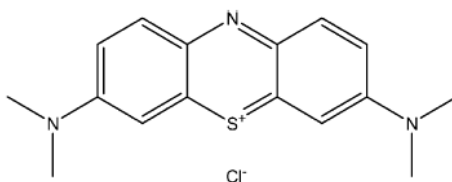
Sumber : Jain *et al.* (2007)

Di dalam Rhodamin B sendiri terdapat ikatan dengan klorin ( Cl ) yang dimana senyawa klorin ini merupakan senyawa anorganik yang reaktif dan juga berbahaya. Selain terdapat ikatan Rhodamin B dengan Klorin terdapat juga ikatan konjugasi. Ikatan konjugasi dari Rhodamin B inilah yang menyebabkan Rhodamin B bewarna merah. Ditemukannya bahaya yang sama antara Rhodamin B dan Klorin membuat adanya kesimpulan bahwa atom Klorin yang ada pada Rhodamin B yang menyebabkan terjadinya

efek toksik bila masuk ke dalam tubuh manusia. Atom Cl yang ada sendiri adalah termasuk dalam halogen, dan sifat halogen yang berada dalam senyawa organik akan menyebabkan toksik dan karsinogen. Rhodamin B dalam air akan terionisasi dalam bentuk kation dan mempunyai gugus fungsional yang bersifat asam, yaitu (-COOH) dan  $(N(C_2H_5)_2^+)$  (Widjanarko *et al.*, 2005)

### 2.2.2. Zat Warna Metilen Biru

Dalam industri tekstil salah satu pewarna yang dipakai adalah metilen biru (MB). MB sering digunakan sebagai pewarna tekstil di dunia industri dikarenakan metilen biru mudah diperoleh dan harganya cukup murah. Dalam proses pewarnaan zat warna MB hanya digunakan sekitar 5% sedangkan 95% sisanya akan terbuang sebagai limbah. Zat warna MB tersebut cukup stabil sehingga cukup sulit terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi besar. Hal tersebut dikarenakan senyawa tersebut dapat menaikkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Rianto dalam Rizqi dan Purnomo, 2014).



**Gambar 2. 2 Struktur Kimia Metilen Biru**

Sumber : Manghabati dan Pazuki (2014)

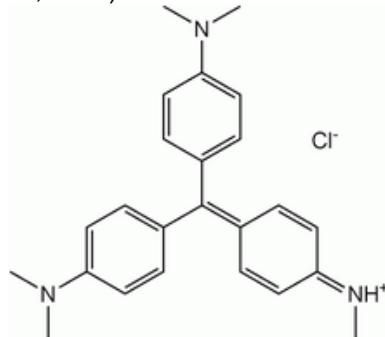
Metilen biru memiliki struktur kimia  $C_{16}H_{18}ClN_3S$  dan memiliki berat molekul 319.851 g/mol. Metilena biru adalah senyawa yang terdiri dari kristal hijau gelap atau bubuk kristal, memiliki bau seperti perunggu. Ketika larut dalam air atau alkohol memiliki warna biru tua.

### 2.2.3. Zat Warna Metil Violet

Metil violet adalah keluarga senyawa organik yang digunakan sebagai pewarna. penggunaan utamanya adalah sebagai pewarna ungu untuk tekstil dan memberi warna violet



gelap pada cat dan tinta. Selain itu, metil violet juga seringkali digunakan dalam pencelupan kapas, sutra, kertas, bambu, jerami, dan kulit (Bonetto *et al.*, 2015)



**Gambar 2. 3 Struktur Kimia Metil Violet**

Sumber : Manurung *et al.* (2004)

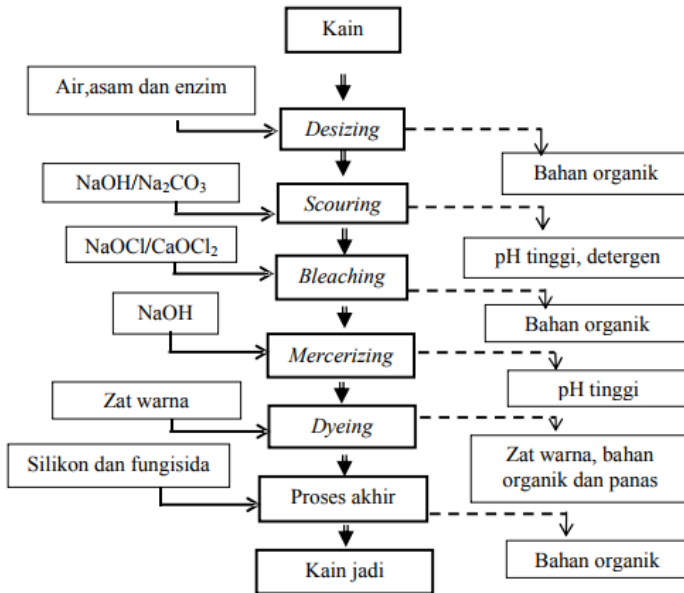
Metil violet memiliki struktur kimia  $C_{24}H_{28}N_3Cl$  dan memiliki warna hijau gelap pada bentuk bubuknya. Zat warna ini juga dapat larut di air, etanol, ddiethilen glikol dan dipropilen glikol.

### 2.3. Proses Produksi Limbah Tekstil

Kandungan yang terdapat pada limbah tekstil bergantung pada proses yang dilakukan dan bahan apa saja yang dilibatkan dalam proses tersebut. Gambar 2.4 menunjukkan proses produksi pada industri tekstil secara umum dan produk sampingan yang dihasilkan.

Proses pencelupan kain pada dasarnya meliputi penghilangan kanji (*desizing*), pelepasan wax (*scouring*), pengelantangan (*bleaching*), *mercerizing* dan pencelupan (*dyeing*). *Desizing* merupakan penghilangan sisa-sisa bahan seperti pati dan polivinil alkohol. Proses *desizing* dapat menggunakan asam atau enzim. *Scouring* merupakan penghilangan pengotor-pengotor alami yang terdapat pada kain melalui proses saponifikasi pada pH tinggi. Sabun atau detergen ditambahkan selama proses *scouring* untuk mengendapkan kalsium, magnesium maupun besi yang terdapat pada kain. *Bleaching* merupakan penghilangan zat warna alami pada kain yang tidak diinginkan. *Mercerising* adalah pengolahan kain menggunakan larutan alkali pekat yang bertujuan untuk

meningkatkan kemampuan serat mengikat zat warna dan penampakan kain yang lembut (Sunarto, 2008)



**Gambar 2. 4 Proses pencelupan kain dan karakteristik limbah tekstil**  
 Sumber : Sunarto (2008)

#### 2.4. Dekolorisasi Zat Warna secara Biologis

Dekolorisasi merupakan suatu proses untuk menghilangkan zat warna. Dekolorisasi secara biologis memiliki beberapa keuntungan di antaranya (1) ramah lingkungan, (2) hemat biaya, (3) produksi lumpur sedikit, (4) produk akhir tidak bersifat toksik dan termineralisasi secara komplit, (5) pemakaian air yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode fisik-kimia. Dekolorisasi zat warna secara biologis dapat dilakukan dengan menggunakan jamur, ragi, alga, tumbuhan (fitoremediasi), dan bakteri (Saratale *et al.*, 2011).

Secara umum, efektifitas dekolorisasi tergantung pada struktur dan kompleksitas masing-masing pewarna, meskipun perbedaan struktur relatif kecil yang dapat memengaruhi proses dekolorisasi (Ghodake *et al.*, 2009). Konsentrasi dari zat warna dapat memengaruhi efisiensi penghilangan zat warna yang berhubungan dengan faktor lain seperti toksisitas zat warna pada konsentrasi yang lebih tinggi dan kemampuan enzim (bakteri) dalam mengenali substrat pada konsentrasi zat warna yang sangat rendah. Selain itu, meningkatnya konsentrasi zat warna awal berpengaruh pada efisiensi dekolorisasi selama interval waktu (Wang *et al.*, 2009)

#### **2.4.1. Dekolorisasi dengan Fitoremediasi**

Fitoremediasi merupakan teknologi yang menggunakan sistem tanaman untuk melakukan remediasi/pemulihan dan perbaikan terhadap area yang terkontaminasi. Tanaman memiliki sistem enzim di dalamnya yang dapat mendegradasi struktur kompleks dan dapat digunakan untuk membersihkan lahan yang terkontaminasi. Hal ini merupakan salah satu strategi reklamasi yang ekologis dan berkelanjutan untuk mengubah lahan tercemar menjadi bermanfaat namun masih dalam tahap percobaan, sehingga diperlukan penelitian dan studi ilmiah (Govindwar dan Kagalkar, 2010).

Teknik fitoremediasi merupakan metode biokonsentrasi polutan dalam tanah dan air serta merupakan teknologi pemulihan kualitas lingkungan tercemar yang ramah lingkungan (Chussetijowati *et al.*, 2010). Mekanisme kerja fitopreoses diakar berupa fitostabilisasi, rizofiltrasi, dan rizodegradasi. Sedangkan di dalam tumbuhan terdapat fitoproses berupa fitoekstraksi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010)

1. Fitoekstraksi adalah penyerapan logam berat oleh akar tanaman dan mengakumulasi logam berat tersebut ke bagian-bagian tanaman seperti akar, batang dan daun.
2. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dari aliran limbah.

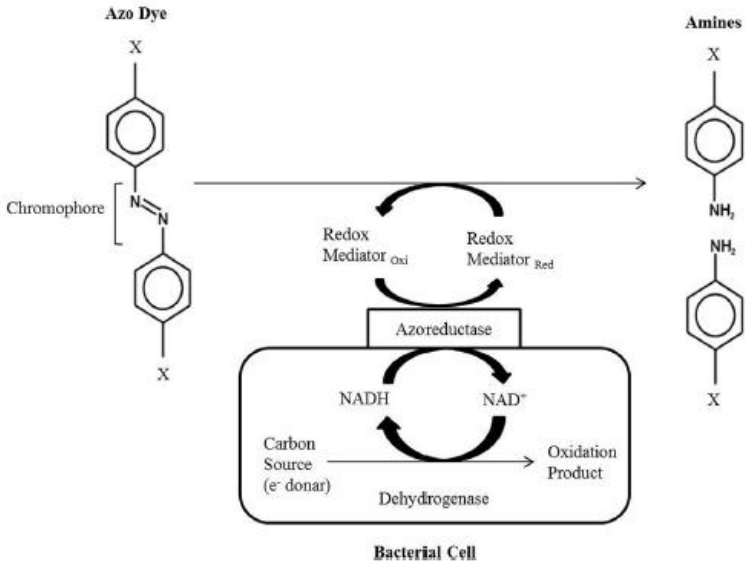
3. Fitodegradasi adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tanaman oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase.
4. Fitostabilisasi adalah kemampuan tanaman dalam mengekskresikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah rizosfer (perakaran).
5. Fitovolatilisasi adalah penyerapan dan pelepasan kontaminan ke atmosfer oleh tumbuhan. Struktur kimia dari kontaminan yang diserap oleh tumbuhan dapat berubah sebelum lepas ke atmosfer (Pivetz, 2001)
6. Fitodegradasi adalah proses degradasi kontaminan sebagai lanjutan dari proses penyerapan yang dilakukan tumbuhan. Fitodegradasi tidak bergantung pada kehadiran mikroorganisme seperti yang terjadi pada rhizodegradasi. Fitodegradasi dapat terjadi pada kontaminan seperti zat organik, limbah yang mengandung klorin, dan zat anorganik (Pivetz, 2001)

#### 2.4.2. Dekolorisasi dengan Bakteri

Umumnya dekolourisasi zat warna terjadi pada kondisi anaerobik, fakultatif anaerobik, dan aerobik oleh berbagai kelompok bakteri. Mekanisme degradasi mikroba zat warna azo melibatkan pembelahan ikatan azo reduktif ( $-N=N-$ ) dengan bantuan enzim *azoreductase* dalam kondisi anaerobik yang menghasilkan larutan tak berwarna yang mengandung amina aromatik. Dekolorisasi dan degradasi zat warna oleh bakteri sangat diminati karena memiliki biodegradasi dan mineralisasi yang tinggi, dapat diaplikasikan dengan berbagai macam pewarna azo, hemat biaya dan ramah lingkungan, dan produksi sedikit lumpur.

Langkah utama dalam dekolourisasi zat warna azo oleh bakteri adalah reduksi ikatan kromofor azo ( $-N=N-$ ). Reduksi ini melibatkan berbagai mekanisme seperti enzim, mediator redoks berat molekul rendah, reduksi kimia oleh reduktan biogenik seperti sulfida, atau kombinasi dari yang disebutkan di atas dengan lokasi reaksi, bisa pada intraselular atau ekstraselular. Dalam dekolourisasi enzimatis dan degradasi zat warna azo, terdapat dua keluarga enzim, yaitu *Azoreductases* dan *Laccases* yang memiliki

potensi besar dalam proses dekolourisasi warna. Beberapa bakteri yang memiliki enzim *Azoreductases* adalah *Acinetobacter radioresisten*, *Bacillus strain SF*, *Bacillus subtilis*, *E. coli*, *Mutant Bacillus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Proteus sp* (Singh *et al.*, 2015). Mekanisme enzim dalam dekolourisasi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5 Mekanisme Enzim Bakteri dalam Proses Dekolorisasi**  
 Sumber : Saratale *et al.* (2011)

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi dekolourisasi oleh bakteri yaitu oksigen dan agitasi, ketersediaan karbon dan nitrogen sebagai suplemen, suhu, pH, konsentrasi zat warna, struktur zat warna, donor elektron, dan mediator redoks (Saratale *et al.*, 2011).

## 2.5. Mekanisme Antara Mikroorganisme dengan Tumbuhan

Pada umumnya, akar, batang, dan daun pada tumbuhan merupakan habitat dari berbagai macam mikroorganisme yang menjadi stimulan untuk meningkatkan degradasi terhadap kontaminan. Eksudat pada akar tanaman merupakan sumber

nutrisi dan faktor pertumbuhan yang tinggi untuk poliferasi mikroorganisme (Khandare dan Govindwar, 2015).

Efisiensi penyisihan kandungan air limbah bergantung pada konsentrasi dan lamanya waktu penahanan di dalam sistem, dimana waktu retensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah. Bahan organik yang terdapat didalam 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 (Supradata, 2005).

Terdapat beberapa penelitian mengenai degradasi pewarna tekstil baik oleh tumbuhan ataupun sistem mikroba secara individu. Namun, sinergitas antara tumbuhan dan mikroba dinilai lebih efektif berdasarkan beberapa penelitian, seperti fitoremediasi limbah tekstil oleh *Bouteloua dactyloides* sebagai tahap awal kemudian dilanjutkan dengan augmentasi dengan tiga spesies bakteri yaitu *Ochrobactrium* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Providencia vermicola* yang menghasilkan reduksi COD hingga 95% (Vijayalakshmi dan Muthukumar, 2014)

## **2.6. *Eichornia crassipes***

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan gulma di wilayah perairan yang hidup terapung pada air yang dalam. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7- 10 hari (Gunawan dan Sahwalita, 2007).



**Gambar 2. 6 Eichornia crassipes**

Sumber : Herrena (2017)

Tumbuhan *E. crassipes* dipilih pada penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tumbuhan lain, yaitu :

- ✓ Pertumbuhan lebih cepat
- ✓ Produksi biomassa yang lebih besar. Kemampuan menyerap polutan tinggi
- ✓ Kontak langsung dengan air yang terkontaminasi
- ✓ Hiperakumulator

(Dhir *et al.*, 2009 ; Dhote dan Dixit 2009; Yuliani *et al.*, 2013)

Pemilihan pada tumbuhan *E.crassipes* pada usia 1 bulan ini dikarenakan akan memasuki tahap fase generatif. Fase generatif merupakan fase tumbuhan bisa menyerap kontaminan secara optimal (Herrena, 2017). Fase generatif ditandai dengan munculnya buah pada eceng gondok (Syahdiman *et al.*, 2013). Buah pada eceng gondok berbentuk kotak, beruang tiga, dan berwarna hijau. Biji berbentuk bulat, hitam, akarnya serabut dan berwarna hitam (Kusrinah *et al.*, 2016).

## **2.7. Kerapatan Tanaman**

Jarak tanam untuk kerapatan tanam bisa mempengaruhi lingkungan tumbuh dan hasil tanaman, semakin rapat jarak tanam semakin tinggi populasi tanaman sehingga kompetisi antar tanaman untuk menyerap unsur hara dari tanah akan meningkat

(Abidin dalam Fatchullah, 2017). Penggunaan kerapatan tanaman pada dasarnya untuk memberikan ruang serta pertumbuhan tanaman yang baik tanpa mengalami persaingan antara sesama tanaman. Penggunaan kerapatan tanaman pada dasarnya untuk memberikan ruang serta pertumbuhan tanaman yang baik tanpa mengalami persaingan antara sesama tanaman.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Herrena (2017), pada reaktor dengan luas permukaan 37,5 cm x 24 cm, terdapat 9 tumbuhan *Eichornia crassipes* dengan berat total 315 gram, sehingga kerapatan tanaman didapatkan 0,35 gram / cm<sup>2</sup>.

## **2.8. Tinjauan Umum Bakteri**

Faktor yang memengaruhi pertumbuhan bakteri adalah :

- a. Nutrien  
Nutrien untuk bakteri terdiri atas unsur makronutrien (C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, dan Fe) dan mikronutrien (Mn, Mo, Zn, Pb, Co, Ni, Cl, Se, dan Si). Nutrien tersebut dibutuhkan untuk membentuk energi dan komponen-komponen sel.
- b. pH  
Bakteri neutrofil dapat tumbuh baik pada pH 6,0-8,0, bakteri asidofil yang memiliki pH optimum 3,0, dan bakteri dapat tumbuh pada pH 10,5 yang disebut bakteri alkofil.
- c. Suhu  
Spesies bakteri yang berbeda membutuhkan suhu optimum yang amat beragam untuk pertumbuhannya. Bakteri psikofilik tumbuh paling baik pada suhu rendah yaitu 15-20°C, bakteri mesofilik tumbuh baik pada suhu 30-37 °C, dan bakteri thermofilik tumbuh paling baik pada suhu 50-60 °C. Sebagian besar bakteri bersifat mesofilik dengan suhu optimum 30 °C.
- d. Oksigen  
Pada faktor oksigen bakteri dibagi menjadi tiga, yaitu :
  1. Bakteri aerob obligat adalah bakteri yang mampu menghasilkan energi hanya melalui respirasi dan dengan demikian tergantung pada oksigen.
  2. Bakteri anaerob obligat adalah bakteri yang hanya dapat hidup dalam lingkungan bebas oksigen (oksigen untuk bakteri ini bersifat toksik).



3. Bakteri anaerob fakultatif adalah bakteri yang tumbuh dengan adanya oksigen, tetapi bakteri ini tidak dapat memanfaatkan oksigen dan memperoleh energi dari peragian
- e. Tekanan Osmotik  
Bakteri yang membutuhkan konsentrasi garam tinggi dinamakan halofilik dan yang membutuhkan tekanan osmotik tinggi dinamakan osmofilik (Naryaningasih, 2005)

Mikroorganisme termasuk bakteri memiliki beberapa fase pertumbuhan, yaitu :

- a) Fase lag  
Jika mikroba dipindahkan ke dalam suatu medium, mula-mula akan mengalami fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Lamanya fase adaptasi ini dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya medium dan lingkungan pertumbuhan, serta jumlah inokulum.
- b) Fase log  
Pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrient, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara. Pada fase ini mikroba membutuhkan energi lebih banyak dari pada fase lainnya. Pada fase ini kultur paling sensitif terhadap keadaan lingkungan. Akhir fase log, kecepatan pertumbuhan populasi menurun dikarenakan :
  - Nutrien di dalam medium sudah berkurang
  - Adanya hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba.
- c) Fase stationer  
Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil karena sel tetap membelah meskipun zat-zat nutrisi sudah habis. Karena kekurangan zat nutrisi, sel kemungkinan mempunyai komposisi yang berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap

keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan-bahan kimia.

d) Fase kematian

Pada fase ini sebagian populasi mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu:

- Nutrien di dalam medium sudah habis.
- Energi cadangan di dalam sel habis.

Kecepatan kematian bergantung pada kondisi nutrien, lingkungan, dan jenis mikroba (Hamdiyati, 2011).

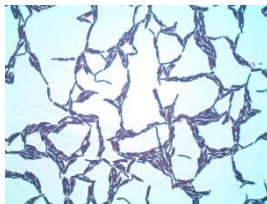
### 2.8.1. *Bacillus subtilis*

Dalam taksonomi, *Bacillus subtilis* mempunyai sistematika sebagai berikut :

Klas : *Bacilli*

Familia : *Baillaceae*

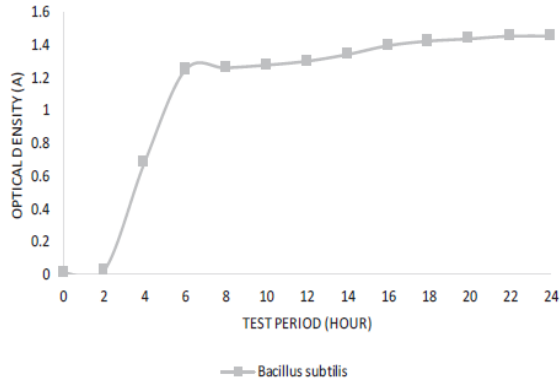
Genus : *Bacillus*



**Gambar 2. 7 Bacilus subtilis**

Sumber : [theprobioticslab.com](http://theprobioticslab.com)

*Bacillus subtilis* adalah salah satu bakteri yang paling baik dan digunakan sebagai organisme model untuk bakteri Gram positif. *B. subtilis* adalah bakteri berbentuk batang, yang menghasilkan endospora yang memungkinkan hidup pada kondisi lingkungan yang ekstrem seperti panas dan kering. Bakteri ini yang umumnya tumbuh pada medium yang mengandung oksigen (bersifat aerobik) dan menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron penting selama respirasi aerob. Di dalam tanah, lingkungan alami *B. subtilis*, bakteri terus menerus menemukan berbagai perubahan kondisi lingkungan termasuk perbedaan drastis tekanan oksigen (Härtig dan Jahn, 2012). Gambar 2.8. menunjukkan fase pertumbuhan bakteri *B.subtilis*



**Gambar 2. 8 Grafik Pertumbuhan Bacillus subtilis**

Sumber : Purwanti *et al.* (2016)

Terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa *B. subtilis* memiliki kemampuan untuk dekolorisasi zat warna. *B. subtilis* memiliki efisiensi penyisihan warna basis hijau, direk basis biru, dan secang sebesar 85%, 70%, dan 32% (Mahmudah, 2015). Selain itu ditemukan pula *B. subtilis* dapat melakukan dekolorisasi pewarna azo sebesar 40-98% dalam 48 jam (Leelakriangsak dan Borisut, 2012)

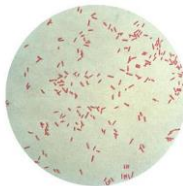
### 2.8.2. *Pseudomonas aeruginosa*

Dalam taksonomi, *Pseudomonas aeruginosa* mempunyai sistematika sebagai berikut :

Klas : *Gamma proteobacteria*

Familia : *Pseudomonadales*

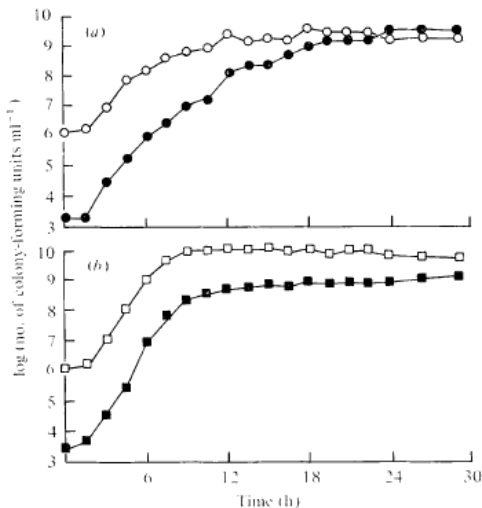
Genus : *Pseudomonas*



**Gambar 2. 9 Pseudomonas aeruginosa**

Sumber : <https://phil.cdc.gov>

*Pseudomonas aeruginosa* adalah bakteri Gram-negatif, berbentuk batang, asporogen, dan monoflagel. Ini memiliki warna yang berkilau dan bau seperti anggur atau tortilla. *P. aeruginosa* tumbuh dengan baik pada suhu 25°C sampai 37°C, dan kemampuannya untuk tumbuh pada suhu 42°C membantu membedakannya dari spesies *Pseudomonas* lainnya. *P. aeruginosa* adalah mikroorganisme di mana-mana yang memiliki kemampuan untuk bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan (Wu *et al.*, 2015).



**Gambar 2. 10 Grafik Pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* strains 568 (putih) dan 548 (hitam) ditumbuhkan dengan kondisi media NB unshaken (gambar atas) dan shaken (gambar bawah)**  
 Sumber : Govan *et al.* (1979)

Terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa *P. aeruginosa* memiliki kemampuan untuk dekolonisasi zat warna. *P. aeruginosa* memiliki efisiensi penyisihan warna basis hijau, direk basis biru, dan secang sebesar 37%, 41%, dan 14% (Mahmudah, 2015). Pada penelitian lain ditemukan bahwa *P. aeruginosa* memiliki aktivitas dekolonisasi optimum pada konsentrasi pewarna *strawberry red* 300 ppm dan memiliki kemampuan pendegradasian

sebesar 79,3%, sedangkan pada pewarna *orange yellow* dengan konsentrasi 100 ppm *P.aeruginosa* memiliki kemampuan pendegradasian sebesar 70,1% (Lukito, 2013). Gambar 2.10. menunjukkan grafik pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa*.

## 2.9. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini. Macam-macam penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu**

	Sumber	Jenis Limbah	Parameter	Hasil Penelitian
Judul	Pengolahan oleh tumbuhan untuk Dekonsentrasi Warna Rhodamin B, Metilen Biru dan Metil Violet Dengan Tumbuhan Air <i>Eichhornia crassipes</i> Dan <i>Pistia stratiotes</i>			
	Herrena (2017)	Pewarna Rhodamin B, Metilen biru, dan Metil violet	Parameter Utama : Warna	<i>E.crassipes</i> terhadap warna metilen biru mencapai 59%, warna rhodamin B mencapai 52% dan metil violet sebesar 51%. Pada tumbuhan <i>P. stratiotes</i> terhadap warna metilen biru mencapai 74%, warna rhodamin B mencapai 78% dan metil violet

				mencapai 55%.
Judul	Dekolorisasi Limbah Pewarna Tekstil Buatan dan Alami dengan <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>			
	Mahmudah (2015)	Pewarna basis hijau, direk biru, dan secang.	Nilai absorbansi warna, COD, suhu, pH	<i>B. subtilis</i> memiliki kemampuan untuk dekolorisasi zat warna. <i>B. subtilis</i> memiliki efisiensi penyisihan warna basis hijau, direk basis biru, dan secang sebesar 85%, 70%, dan 32%

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Umum

Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi konsentrasi zat pewarna pada limbah cair dengan melakukan konsorsium bakteri dengan tumbuhan yang dioperasikan dengan sistem secara *batch*. Jenis bakteri yang digunakan adalah *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Sedangkan jenis tumbuhan yang dipakai adalah *Eichornia crassipes*. Sistem *batch* sendiri adalah suatu sistem dimana tidak ada debit yang masuk dan keluar selama reaksi dan reaksinya sekali dalam sekali proses. Pada penelitian ini, parameter utama yang digunakan adalah konsentrasi warna. Sedangkan parameter pendukung yang digunakan adalah berat basah, berat kering, pH, suhu, jumlah mikroorganisme dengan metode *Coloni Forming Unit (CFU)*, dan morfologi tumbuhan, dengan metode *Plant Cell Analysis*.

Pada penelitian awal yang dilakukan yaitu dengan tahap propagasi, yaitu tahap memperbanyak tumbuhan untuk menyiapkan kebutuhan tumbuhan pada penelitian ini. Tahap *Range Finding Test (RFT)* pada penelitian ini mengacu pada data RFT di penelitian sebelumnya. Tahap RFT sebelumnya memiliki konsentrasi maksimum sebesar 70 mg/L (Herrena, 2017). Selanjutnya, tahap aklimatisasi dimana tahap ini sebagai langkah tumbuhan dapat beradaptasi dengan kondisi atau media lingkungan tempat penelitian. Setelah tahap aklimatisasi, penelitian dilanjutkan dengan melakukan penelitian utama, yaitu tahap pengolahan oleh tumbuhan. Pada tahap pengolahan oleh tumbuhan, air limbah yang disiapkan pada reaktor merupakan limbah artifisial, yaitu pewarna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet yang dilarutkan dengan air PDAM. Konsentrasi zat pewarna yang digunakan pada reaktor mengacu pada penelitian sebelumnya, yaitu 23 mg/L (Herrena, 2017). Pada penelitian ini dilakukan pula pengamatan pada morfologi tumbuhan untuk mengetahui pengaruh zat pewarna terhadap perkembangan tumbuhan dan pengamatan pada anatomi tumbuhan untuk mengetahui pengaruh keberadaan bakteri *P. aeruginosa* dan *B. subtilis* di dalam reaktor berisi zat pewarna terhadap morfologi *E. crassipes*.

## **3.2. Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian merupakan alur jalannya proses penelitian ini. Penyusunan alur berupa langkah-langkah dalam penelitian ini bertujuan agar mempermudah pelaksanaan penelitian dan sebagai acuan dalam menjalankan penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

## **3.3. Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan selama penelitian ini. Pada tahapan penelitian akan dijelaskan lebih rinci langkah-langkah yang terdapat pada kerangka penelitian serta memudahkan pemahaman.

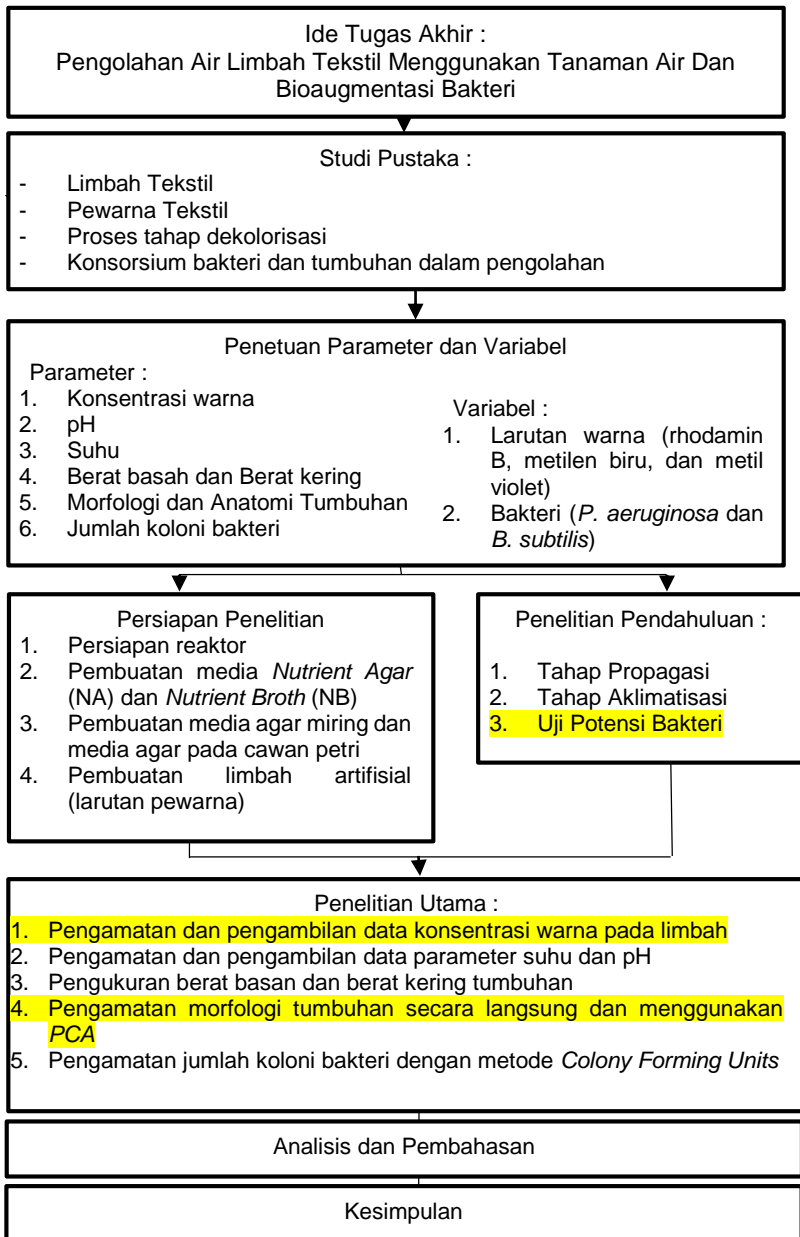
### **3.3.1. Ide Penelitian**

Ide penelitian ini berasal dari meningkatnya industri tekstil yang tentunya akan berbanding lurus dengan volume air limbah yang dihasilkan. Air limbah yang dihasilkan berpotensi untuk mencemari badan air dan dapat memengaruhi kesehatan manusia. Hal ini dikarenakan limbah dari industri tekstil memiliki kandungan warna yang tinggi dan mengandung zat yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengurangi kandungan warna yang terdapat pada limbah industri tekstil.

Penelitian sebelumnya (Herrena, 2017) melakukan pengolahan limbah warna artifisial dengan menggunakan tumbuhan air atau biasa dikenal dengan tahap pengolahan oleh tumbuhan. Pada penelitian sebelumnya menggunakan tumbuhan *E. crassipes* dan *P. Stratiotes* dengan pengoperasian sistem *batch*. Dari penelitian itu didapatkan efisiensi penyisihan warna oleh *E. crassipes* terhadap warna metilen biru mencapai 59%, warna rhodamin B mencapai 52% dan metil violet sebesar 51%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan tumbuhan *E. crassipes* untuk mendegradasi warna dengan melibatkan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Melalui interaksi antara tumbuhan dan bakteri tersebut diharapkan adanya peningkatan efisiensi terhadap penyisihan warna.





**Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian**

### 3.3.2. Studi Pustaka

Pelaksanaan studi pustaka ini dilakukan untuk menjadi acuan dalam melakukan penelitian. Studi pustaka yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah, laporan tugas akhir, bimbingan terhadap dosen serta penelitian terdahulu. Studi pustaka ini bertujuan untuk mengkaji teori-teori yang mendasari ruang lingkup penelitian ini serta memperoleh prosedur-prosedur penelitian yang menjadi acuan dalam penelitian, meliputi :

- Dampak limbah tekstil terhadap lingkungan
- Mekanisme pengolahan limbah secara tahap pengolahan oleh tumbuhan
- Interaksi antara mikroorganisme dan tumbuhan dalam tahap pengolahan oleh tumbuhan
- Penelitian terdahulu
- Pengoperasian sistem *batch* pada pengolahan larutan warna
- Penerapan proses tahap pengolahan oleh tumbuhan dengan tumbuhan air *E.crassipes* dengan melibatkan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*

### 3.3.3. Penentuan Parameter dan Variabel

Parameter dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Parameter utama yang diukur adalah konsentrasi warna pada limbah artifisial.
- Parameter pendukung yang diukur adalah pH, suhu, berat basah dan berat kering, jumlah koloni bakteri, dan morfologi tumbuhan.
- Variabel yang digunakan yaitu jenis bakteri *P.aeruginosa* dan *B.subtilis* yang akan berinteraksi dengan tumbuhan air *E.crassipes* dengan pengoperasian sistem *batch*. Lama pengamatan dilakukan selama 28 hari digunakan untuk mengetahui kemampuan optimum tumbuhan dengan bahan pencemar (Herrena, 2017). Kemudian apapun variabel terikat dimana menggunakan larutan warna rhodamin B, metilen biru dan metil violet secara tahap pengolahan oleh tumbuhan.

### 3.3.4. Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- Reaktor yang digunakan pada tahap propagasi dan tahap aklimatisasi berupa kontainer plastik dengan ukuran 720 x 385 x 345 mm dengan kapasitas 50 L.
- Reaktor untuk uji tahap pengolahan oleh tumbuhan menggunakan kontainer plastik ukuran 375 x 240 x 234 mm dengan kapasitas 20 L berjumlah 32 buah.
- Penggaris untuk mengukur tumbuhan
- Spektrofotometri
- pH meter dan thermometer
- Timbangan untuk mengukur berat tumbuhan
- Desikator
- Oven dengan suhu 105 °C
- Mikroskop
- Autoklaf
- Jarum ose
- Kapas lemak
- *Aluminium foil*

Bahan yang digunakan penelitian ini meliputi :

- Limbah tekstil artifisial berupa larutan warna rhodamin B, metilen biru dan metil violet dengan konsentrasi 23 mg/L
- Jenis tumbuhan *E.crassipes*. Tumbuhan yang digunakan memiliki usia yang sama. Kemudian tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini adalah tumbuhan yang masih segar dan sehat.
- Biakan bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*
- *Nutrient Agar*
- *Nutrient Broth*
- Akuades
- Air PDAM digunakan untuk tahap pengolahan oleh tumbuhan.

Rincian dari tahap persiapan penelitian adalah sebagai berikut

#### 1. Persiapan Reaktor

Pada tahap propagasi dan aklimatisasi, digunakan reaktor ukuran 720 x 385 x 345 mm dengan kapasitas 50 L. Sedangkan












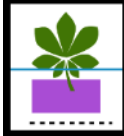





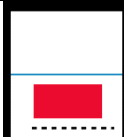

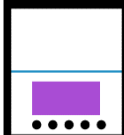






untuk tahap pengolahan oleh tumbuhan, reaktor yang digunakan memakai sistem *batch*. Reaktor pada tahap pengolahan oleh tumbuhan merupakan Reaktor untuk uji tahap pengolahan oleh tumbuhan menggunakan kontainer plastik ukuran 375 x 240 x 234 mm dengan kapasitas 20 L berjumlah 20 buah. Reaktor diisi dengan limbah artifisial yang telah disiapkan di awal dan tumbuhan *E. crassipes* yang nantinya diinteraksikan dengan bakteri *P. aeruginosa* dan *B. subtilis* secara tunggal sebanyak 10 L. Reaktor yang digunakan pada tahap pengolahan oleh tumbuhan dapat dilihat pada gambar 3.2.

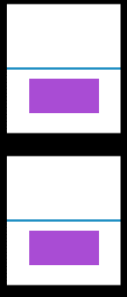




**Gambar 3. 3 Reaktor Tahap pengolahan oleh tumbuhan**

Pada penelitian ini terdapat reaktor utama dan reaktor kontrol. Reaktor utama terdiri dari tumbuhan *E. crassipes*, limbah artifisial, dan bakteri. Reaktor utama untuk setiap variabel bakteri dan zat pewarna berjumlah kelipatan 2 (duplo). Hal ini bertujuan agar ada pembandingan untuk setiap reaktor dan sebagai pertimbangan ketika melakukan analisis. Sedangkan reaktor kontrol terdiri dari reaktor kontrol tumbuhan, kontrol bakteri, dan kontrol zat pewarna. Reaktor kontrol tumbuhan berisi tumbuhan *E. crassipes* dan air PDAM saja. Sedangkan reaktor kontrol bakteri hanya berisi media air limbah artifisial dengan bakteri. Pada reaktor kontrol zat pewarna hanya menggunakan media limbah artifisial tanpa tumbuhan dan bakteri. Jumlah reaktor kontrol bakteri disusun secara duplo, sedangkan reaktor kontrol tumbuhan dan kontrol zat warna disusun secara *single* karena tidak ada keterlibatan variabel bakteri. Rincian jumlah reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Rincian Reaktor yang Digunakan Selama Tahap pengolahan oleh tumbuhan**

Rincian	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		<i>Bacillus subtilis</i>	
	R1	R2	R1	R2
Tumbuhan + zat warna + bakteri				
				
				
Bak kontrol tumbuhan				
Bak kontrol bakteri + zat warna				
				
				

Rincian	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		<i>Bacillus subtilis</i>	
	R1	R2	R1	R2
Bak kontrol zat warna				
Total Reaktor	<b>32 buah reaktor</b>			


Keterangan :

● ● ● ● = bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

----- = bakteri *Bacillus subtilis*

 = zat warna Rhodamin B

 = zat warna Metil Biru

 = zat warna Metil Violet

## 2. Pembuatan *Nutrient Broth* (NB)

Kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroorganisme bergantung pada ketersediaan nutrisi dan lingkungan pertumbuhan yang baik. Di laboratorium, ketersediaan nutrisi yang digunakan untuk pembiakan mikroorganisme disebut media. NB merupakan media cair yang dapat digunakan untuk propagasi mikroorganisme dalam jumlah besar.

Pembuatan NB dilakukan dengan cara melarutkan serbuk NB sesuai dengan perhitungan ke dalam akuades. Setelah serbuk NB larut dalam akuades, dilakukan penuangan sesuai dengan kebutuhan pada labu erlenmeyer. Labu erlenmeyer disumbat dengan kapas lemak, kemudian dilakukan sterilisasi

dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit atau lebih (Prescott, 2002).

### 3. Pembuatan **Nutrient Agar (NA)**

NA merupakan media semisolid yang digunakan sebagai media inokulasi bakteri dengan melarutkan serbuk NA sesuai dengan perhitungan ke dalam akuades pada erlenmeyer. Media NA yang sudah terlarut dapat ditambahkan HCl atau NaCl untuk menyesuaikan pH yang dibutuhkan oleh bakteri. Setelah itu dilakukan penuangan sesuai dengan kebutuhan ke tabung reaksi, disumbat kapas lemak, dan dilakukan sterilisasi dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit atau lebih (Prescott, 2002).

### 4. Pembuatan Media Agar Miring

Pembuatan media agar miring dilakukan untuk mengkultur kembali isolat bakteri agar bakteri tetap hidup. Media agar miring merupakan NA yang telah diautoklaf sebelumnya. Pembuatan agar miring dilakukan dengan memiringkan tabung reaksi sebesar  $\pm 30^\circ$  yang berisi 5 mL media NA. Kemudian tunggu hingga memadat selama 15-30 menit pada suhu ruangan (Ngajow *et al.*, 2013; Prescott, 2002).

### 5. Pembuatan Media Selektif pada Cawan Petri

Pembuatan media pada cawan petri dilakukan tidak jauh berbeda dengan membuat media agar miring pada tabung reaksi. Media selektif pada cawan petri digunakan untuk analisis *Colony Forming Units* (CFU) khusus bakteri yang diinginkan. Media selektif yang digunakan telah disterilkan di autoklaf. Pembuatan media selektif pada cawan petri dimulai dengan menuangkan tabung reaksi yang berisi 10 mL media selektif ke dalam masing-masing cawan petri. Penuangan media selektif pada cawan petri tetap dikondisikan dalam keadaan aseptis (Ngajow *et al.*, 2013; Prescott, 2002).

### 6. Inokulasi dan Peremajaan Bakteri

Biakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis* diinokulasikan sebanyak 1 ose ke media agar miring yang telah disiapkan sebelumnya. Setelah dilakukan inokulasi, bakteri akan diinkubasikan selama 24 jam pada suhu 37°C (Jauhari, 2010).

## 7. Pembuatan Limbah Artifisial (Larutan Pewarna)

Limbah tekstil yang digunakan pada reaktor merupakan limbah artifisial. Pewarna yang digunakan adalah rhodamin B, metilen biru, dan metil violet. Mula-mula dibuat larutan stok masing-masing pewarna dengan konsentrasi 1000 mg/L. Pembuatan larutan ini dilakukan dengan menimbang masing-masing pewarna sebanyak 1 gram kemudian dilarutkan pada air PDAM sebanyak 1 L. Pengambilan limbah artifisial selanjutnya menggunakan rumus pengenceran sesuai dengan kebutuhan (Husniya, 2012).

## 8. Uji Potensi Bakteri

Uji potensi mengacu kepada uji potensi bakteri pada Utari *et al.* (2015) yang telah disesuaikan. Mula-mula membuat suspensi bakteri dengan menginokulasi bakteri ke media NB kemudian iinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°. Selanjutnya membuat media cair yang mengandung pewarna dan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri disiapkan sebanyak 30 mL dalam setiap botol dengan konsentrasi pewarna 23 mg/L yang diambil dari larutan baku 1000 mg/L. Kemudian suspensi ditanam pada media cair selama 3 hari sebanyak 5% dari volume media cair bakteri (Ashtana *et al.*, 2014).



**Gambar 3. 4 Media Cair untuk Uji Potensi Bakteri**

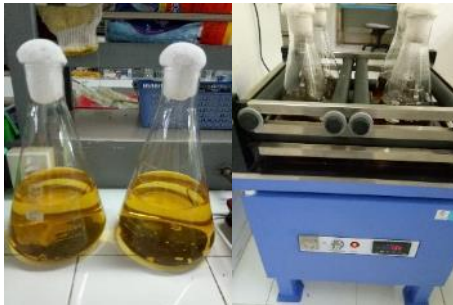
Pada hari ke-3 media cair berisi suspensi bakteri disentrifuge 5000 rpm selama 20 menit. Selanjutnya, diukur konsentrasi pewarna pada media cair pada hari ke 3 dengan menggunakan spektrofotometer UV vis dengan panjang gelombang maksimum. Adanya penurunan kadar limbah



pewarna ditentukan apabila nilai absorbansi akhir lebih kecil absorbansi awal pada spektrofotometer. Penurunan ini menunjukkan bahwa bakteri berpotensi menurunkan pewarna pada konsentrasi 23 mg/L

#### 9. Inokulasi Bakteri ke Reaktor

Inokulasi bakteril mengacu kepada pada Ashtana *et al.* (2014) yang telah disesuaikan. Inokulum bakteri yang diinokulasi ke reaktor sebanyak 5% dari volume media. Volume media adalah 10 L sehingga dibutuhkan inokulum sebanyak 0,5 L setara dengan 500 mL. Mula-mula, isolat bakteri yang sudah diinokulasikan pada media agar miring 24 jam diambil menggunakan jarum ose yang sudah disterilkan sebanyak 10 loop untuk kemudian dilarutkan ke dalam 2 L media NB.



**Gambar 3. 5 Media NB yang telah diinokulasi**

Setelah dicampurkan ke media NB, inokulum diinkubasi pada *shaker* selama fase eksponen bakteri. Hal ini dikarenakan pertumbuhan maksimum terjadi pada saat fase eksponen (Purwanti *et al.*, 2016). Setelah diinkubasi pada shaker, inokulum dituangkan ke reaktor yang telah berisi limbah tekstil artifisial dengan konsentrasi 23 mg/L.

#### 10. Uji Karakteristik Limbah Awal

Uji karakteristik limbah awal dilakukan untuk mendapatkan nilai absorbansi warna awal, ph awal, dan suhu awal. Nilai absorbansi warna awal dilakukan dengan spektrofotometer pada panjang gelombang yaitu 400 hingga 700 nm. Pada uji karakteristik limbah awal didapatkan kurva kalibrasi dan panjang gelombang maksimum yang akan digunakan pada

analisis konsentrasi warna (Mahmudah, 2015). Pembuatan kurva kalibrasi menggunakan air PDAM sebagai blanko.

### **3.3.5. Penelitian Pendahuluan**

#### **1. Tahap Propagasi**

Tahap propagasi ini berfungsi untuk menyediakan stok tumbuhan yang akan digunakan pada saat penelitian. Selama masa propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*) (Raissa dan Tangahu, 2017). Tahap propagasi ini dilakukan minimal selama satu bulan sampai tumbuhan memiliki ukuran secara optimum (Suelee, 2015).

Pengamatan terhadap tumbuhan *E.crassipes* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik berupa panjang tumbuhan, lebar daun. Tumbuhan pada umur dan tinggi yang sama akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, dan diharapkan dengan demikian maka kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2010). Tahap propagasi menggunakan reaktor berupa kontainer plastik ukuran 720 x 385 x 345 mm dengan kapasitas 50 L.

#### **2. Tahap Aklimatisasi**

Tahap aklimatisasi tumbuhan ini dilakukan agar tumbuhan *E.crassipes* dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang akan digunakan pada tahap uji tahap pengolahan oleh tumbuhan. Proses tahap aklimatisasi tumbuhan ini dilakukan dengan cara meletakkan tumbuhan pada reaktor selama 7 hari menggunakan air PDAM (Puspita *et al.*, 2011). Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan dalam reaktor yang terbuat dari kontainer plastik berukuran 720 x 385 x 345 mm dengan kapasitas 50 L. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan karakteristik tumbuh subur.

### 3.3.6. Penelitian Utama

Penelitian utama terdiri dari beberapa kegiatan yang dilaksanakan baik sebelum, setelah maupun pada saat tahap pengolahan oleh tumbuhan. Pada penelitian utama, dikumpulkan beberapa data untuk mendapatkan nilai dari setiap parameter yang telah ditentukan di awal. Pengukuran warna, pH, suhu, berat basah dan berat kering dilakukan saat memasuki tahap pengolahan oleh tumbuhan yang akan dilaksanakan selama 28 hari. Sedangkan uji *Plant Cells Analysis* dan *Total Plate Count* dilakukan sebelum dan sesudah tahap pengolahan oleh tumbuhan. Berikut adalah penjabaran langkah-langkah pada penelitian utama beserta beberapa metode pengumpulan dan analisis data untuk setiap parameter pada penelitian ini.

#### 1. Pengumpulan Data untuk Parameter Konsentrasi Warna

Pada uji warna pengambilan sampel dilakukan di empat (4) titik imajiner pada setiap reaktor. Selanjutnya sampel yang telah diambil dari empat titik disatukan dan dihomogenkan dalam erlenmeyer. Sampel kemudian diletakkan pada *centrifuge* selama 20 menit dengan kecepatan 5000 rpm. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan material padat seperti rambut akar dan/atau sel mikroba (Telke *et al.*, 2009). Kemudian supernatant diambil untuk dianalisis pada spektrofotometri sehingga dapat diketahui kemampuan absorbannya yang berbanding lurus dengan konsentrasi warna pada media. Persentase dekolorisasi dihitung dari selisih antara nilai awal dan akhir dengan rumus berikut (Tan *et al.*, 2016) :

$$\% \text{ Dekolorisasi} = \frac{\text{Nilai absorbansi awal} - \text{Nilai absorbansi akhir}}{\text{Nilai absorbansi awal}} \times 100\%$$

Pada uji konsentrasi warna diharuskan untuk membuat larutan blanko untuk setiap warnanya sebagai kalibrasi. Uji warna dilakukan secara berturut-turut pada 5 hari awal, kemudian dilanjutkan seminggu sekali pada akhir minggu yang kemudian hasilnya akan disajikan dalam bentuk grafik.

#### 2. Pengumpulan Data untuk Parameter Suhu

Pengukuran suhu dilakukan dengan pengukuran secara langsung pada bagian tengah media di dalam reaktor

menggunakan termometer lab. Pengukuran suhu dilakukan setiap secara berturut-turut pada 5 hari awal terhitung sejak tahap pengolahan oleh tumbuhan, kemudian dilanjutkan dua hari sekali.

### **3. Pengumpulan Data untuk Parameter pH**

Pengukuran pH dilakukan dengan pengukuran secara langsung pada bagian tengah media di dalam reaktor menggunakan pH meter. Sebelum pengukuran, pH meter wajib dikalibrasi agar hasilnya akurat. Pengukuran pH dilakukan selama 5 hari di awal dan seminggu sekali terhitung sejak tahap pengolahan oleh tumbuhan.

### **4. Pengukuran Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan**

Pengukuran berat basah dan berat kering dilakukan dengan mengambil tumbuhan eceng gondok, kemudian di timbang sebagai berat basah dengan neraca analitik. Tahap selanjutnya adalah mengeringkan tumbuhan tersebut pada suhu 105°C selama 24-36 jam (Vamerali *et al.*,2009). Pengeringan dengan meletakkan bagian tumbuhan di atas aluminium foil dan kemudian dimasukkan dalam oven. Setelah tahap pengeringan, setiap tumbuhan diletakkan ke dalam desikator selama 15 menit dengan tujuan agar suhu tumbuhan sama seperti suhu ruang, tanpa menyerap kadar air dari udara luar, kemudian di timbang sebagai berat kering. Pengukuran ini dilakukan satu kali sebelum tahap pengolahan oleh tumbuhan dan satu kali setelah tahap pengolahan oleh tumbuhan.

### **5. Pengamatan morfologi tumbuhan secara langsung**

Kegiatan pengamatan morfologi tumbuhan secara langsung meliputi pengukuran panjang tumbuhan, panjang daun, dan lebar daun tumbuhan *E. crassipes*. Pengukuran panjang dan lebar daun menggunakan penggaris dan dilakukan selama 5 hari di awal dan seminggu sekali. Sedangkan untuk pengukuran panjang tumbuhan dilakukan menggunakan penggaris pada awal dan akhir penelitian.

### **6. Pengumpulan Data untuk *Plant Cell Analysis***

Pada *plant cell analysis* akan diambil beberapa bagian pada tumbuhan seperti akar, batang, daun yang kemudian akan diiris melintang dan dilihat pada mikroskop. *Plant cell analysis* sendiri dilakukan pada sebelum dan setelah tahap pengolahan oleh tumbuhan.

## 7. Uji CFU (*Coloni Forming Unit*)

Uji CFU ini bertujuan untuk menghitung jumlah mikroorganisme dalam suatu sampel dengan baik dan benar. Menghitung mikroorganisme dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan metode pengenceran, perhitungan langsung, membran filter, cara kimia dan volume sel. Dalam metode pengenceran ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengukur atau menghitung jumlah jasad renik dengan menggunakan perhitungan jumlah sel yaitu hitungan mikroskopis, hitungan cawan (*plate count*) dan MPN (*most probable number*).

Dalam metode ini menggunakan hitungan cawan, diperlukannya pengenceran sebelum ditumbuhkan pada medium agar di cawan petri. Setelah diinokulasi akan terbentuk koloni dicawan petri tersebut dalam jumlah yang dapat dihitung, dimana jumlah terbaik adalah diantara 25-250 koloni. Asumsinya adalah setiap sel bakteri yang hidup terpisah dari yang lainnya akan berkembang menjadi koloni diskrit tunggal (CFU). Dengan demikian, jumlah koloni menunjukkan jumlah bakteri hidup yang bisa tumbuh di bawah kondisi inkubasi yang dipekerjakan. Pengenceran biasanya berlapis dilakukan (misalnya,  $10^{-4}$  sampai  $10^{-10}$ ) karena jumlah sebenarnya bakteri yang hidup dalam sampel biasanya tidak diketahui. Ketepatan yang lebih tinggi dicapai dengan rangkap dua atau rangkap tiga masing-masing pengenceran (Prescott, 2002).

Uji CFU mengambil metode dari Prescott (2002) yang dimodifikasi sesuai penelitian yang akan dilakukan. Alat dan bahan yang diperlukan adalah botol sampling steril, cawan petri steril, 3 media selektif tegak 10 mL, 6 tabung reaksi berisi larutan NaCl. Mula-mula semua alat dan bahan untuk uji CFU harus disterilkan di autoklaf. Kemudian siapkan media NA tegak, dilanjutkan dengan pemanasan hingga mencair. Selanjutnya, pengambilan sampel pada reaktor digunakan dengan botol steril minimal 5 mL.

Siapkan 6 tabung reaksi yang masing-masing berisi larutan NaCl sebanyak 9 mL. Berikan label  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ . Selanjutnya beri label pada cawan petri  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ . Siapkan pembakar bunsen agar menciptakan kondisi steril dan aseptik. Semua prosedur dilakukan pada jarak 10 cm dari pembakar bunsen.

Selanjutnya ambil 1 mL air sampel, masukkan ke tabung reaksi larutan NaCl  $10^{-1}$ , kocok hingga homogen. Kemudian ambil 1 mL dari tabung reaksi  $10^{-1}$  untuk dimasukkan ke tabung reaksi  $10^{-2}$ . Lakukan seterusnya hingga memasukkan 1 mL dari tabung reaksi  $10^{-4}$  ke tabung reaksi  $10^{-5}$ . Kemudian, ambil 0,1 mL dari tabung reaksi  $10^{-5}$  dan masukkan ke cawan petri steril  $10^{-6}$ . Selanjutnya, ambil 1 mL dari tabung reaksi  $10^{-5}$  untuk dimasukkan ke tabung reaksi  $10^{-6}$  dan kocok supaya homogen. Kemudian, ambil 0,1 mL dari tabung reaksi  $10^{-6}$  dan masukkan ke cawan petri steril  $10^{-7}$ .

Tuangkan setiap media selektif yang telah dipanaskan sebanyak ke masing-masing cawan petri. Kemudian goyang-goyangkan 5x depan-belakang, 5x kanan-kiri, 5x searah putaran jam, 45x berlawanan putaran jam. Setelah media selektif memadat, balik cawan petri, dan inkubasi selama 24 jam.

Setelah 24 jam, perhitungan jumlah koloni dihitung menggunakan *Bacteria Colony Counter*. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dimasukkan ke rumus sebagai berikut :

$$\text{Jumlah koloni (CFU/ mL)} = \frac{\text{jumlah koloni per cawan}}{\text{ml sampel pada cawan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Uji CFU dilakukan di awal, tengah di akhir tahap pengolahan oleh tumbuhan sehingga akan terlihat pola perkembangan bakteri berdasarkan jumlah koloni bakterinya.

### 3.4. Analisis dan Pembahasan

Analisis data dilakukan pada setiap data yang sudah terkumpul. Data yang didapatkan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan dalam proses analisis. Setelah data dibuat, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan yang sudah diperoleh. Dari adanya analisis tersebut akan diperoleh hasil pengolahan larutan warna rhodamin B, metilen biru dan metil violet melalui tahap pengolahan oleh tumbuhan oleh konsorsium *E. crassipes* dengan bakteri tunggal *P. aeruginosa* dan *B. subtilis* dalam pengoperasian secara sistem *batch*.

### **3.5. Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan. Kesimpulan menjawab tujuan penelitian yang akan dicapai. Saran untuk merekomendasikan untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya. Tujuan dari rekomendasi ini berguna untuk memperbaiki penelitian selanjutnya

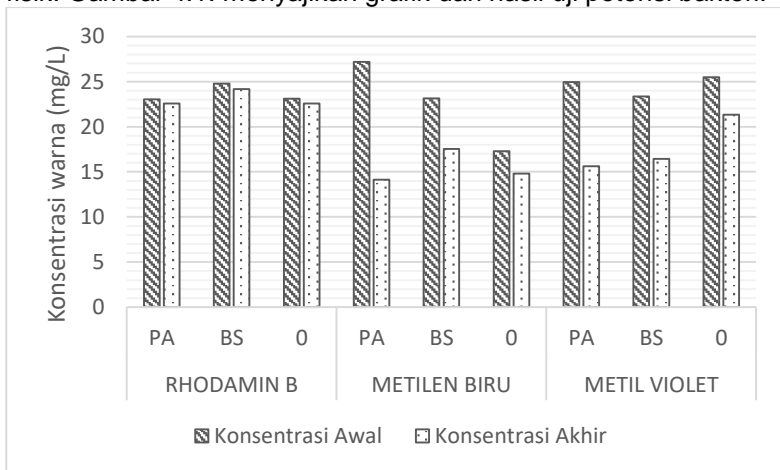
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Uji Potensi Bakteri

Uji potensi bakteri dilakukan untuk mengetahui berapa potensi yang dimiliki oleh bakteri dalam melakukan penyisihan warna. Warna yang digunakan adalah rhodamin B, metilen biru, dan metil violet dengan konsentrasi  $\pm 23$  mg/L. Bakteri yang digunakan pada uji potensi ini adalah *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Pada uji potensi bakteri, setiap warnanya akan menggunakan 3 reaktor, yaitu reaktor PA yang berisi pewarna dengan bakteri *P. aeruginosa*, reaktor BS yang berisi pewarna dengan bakteri *B. subtilis*, dan reaktor 0 yang hanya berisi pewarna sebagai kontrol terhadap penyisihan warna secara fisik. Gambar 4.1. menyajikan grafik dari hasil uji potensi bakteri.



**Gambar 4. 1 Grafik Hasil Uji Potensi Bakteri**

Grafik pada Gambar 4.1. menunjukkan terdapat penurunan konsentrasi warna rhodamin B pada reaktor PA berisi bakteri *P. aeruginosa* dari 23,1 mg/L menjadi 22,57 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 2,28%. Reaktor BS yang berisi bakteri *B. subtilis* menunjukkan penurunan konsentrasi warna rhodamin B dari 24,76 mg/L menjadi 24,18 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 2,34%. Sedangkan reaktor tanpa perlakuan

mengalami penurunan konsentrasi warna rhodamin B dari 23,03 mg/L menjadi 22,57 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 1,93%

Pada media warna metilen biru, reaktor PA berisi bakteri *P. aeruginosa* mengalami penurunan konsentrasi warna dari 27,21 mg/L menjadi 14,13 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 48%. Reaktor BS berisi bakteri *B. subtilis* menunjukkan penurunan konsentrasi warna metilen biru dari 23,15 mg/L menjadi 17,54 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 24%. Sedangkan reaktor tanpa perlakuan mengalami penurunan konsentrasi warna metilen biru dari 17,3 mg/L menjadi 14,81 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 14%.

Pada media warna metil violet, reaktor PS mengalami penurunan konsentrasi warna dari 24,96 mg/L menjadi 15,62 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 37%. Reaktor BS juga menunjukkan penurunan konsentrasi warna metil violet dari 23,35 mg/L menjadi 16,43 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 30%. Sedangkan reaktor tanpa perlakuan mengalami penurunan konsentrasi warna Metil Violet dari 25,5 mg/L menjadi 21,33 mg/L dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 16%.



**Gambar 4. 2 Reaktor Uji Pendahuluan**

Besarnya nilai potensi bakteri dalam melakukan penyisihan warna didapatkan melalui selisih dari efisiensi penyisihan warna reaktor PA atau BS yang berisi bakteri dengan efisiensi penyisihan pada reaktor 0 sebagai reaktor kontrol warna tanpa

perlakuan. Persamaan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Potensi bakteri (\%)} = \text{Efisiensi penyisihan warna reaktor bakteri} - \text{Efisiensi penyisihan warna reaktor kontrol} \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan rumus (1) maka hasil uji potensi bakteri dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1 Hasil Uji Potensi Bakteri**

	<b>Reaktor Bakteri (Bakteri+ Media Warna)</b>	<b>Ef. Penyisihan warna reaktor bakteri</b>	<b>Ef. Penyisihan warna reaktor kontrol</b>	<b>Potensi bakteri</b>
<i>B. subtilis</i>	Rhodamin B	2,34%	1,93%	0,41%
	Metilen Biru	24%	14%	10%
	Metil Violet	30%	16%	14%
<i>P. aeruginosa</i>	Rhodamin B	2,28%	1,93%	0,35%
	Metilen Biru	48%	14%	34%
	Metil Violet	37%	16%	19%

Berdasarkan hasil dari uji potensi bakteri, warna Rhodamin B memiliki nilai efisiensi penyisihan warna paling kecil dikarenakan Rhodamin B mengandung gugus amino yang bersifat basa dan inti benzen sehingga sulit didegradasi oleh mikroorganismenya (Purnamawati *et al.*, 2015). *P. aeruginosa* memiliki nilai lebih besar dari *B. subtilis* karena *P. aeruginosa* lebih kuat dalam mendegradasi ikatan amina pada pewarna (Pandey *et al.*, 2006). Walaupun sekilas *P. aeruginosa* memiliki nilai yang lebih tinggi dari *B. subtilis*, namun secara statistik perbedaannya tidak signifikan dikarenakan  $P > 0.05$ . Hasil dari uji potensi bakteri, kedua bakteri ini akan digunakan untuk dekolonisasi warna pada tahap pengolahan oleh tumbuhan dengan *E. crassipes*.

#### **4.2. Tahap Propagasi Tumbuhan**

Tahap propagasi pada tumbuhan *E. crassipes* berfungsi yaitu untuk memperbanyak tumbuhan yang diperlukan saat penelitian dan mengetahui laju pertumbuhan, dan dilakukan minimal satu bulan. Selama tahap propagasi akan dilakukan

pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*).

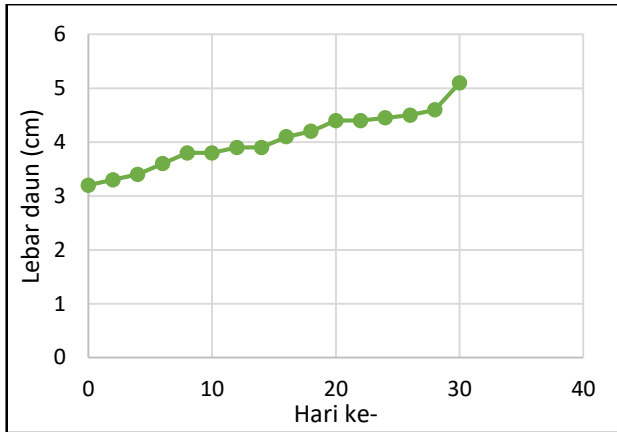
Tumbuhan yang menjadi tumbuh tunas atau *second generation* nantinya akan digunakan untuk penelitian pendahuluan. Tumbuhan dengan umur dan tinggi yang sama dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan ini akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000). Tumbuhan *E. crassipes* yang digunakan berusia 1 bulan. Pemilihan pada tumbuhan *E. crassipes* yang berusia 1 bulan ini dikarenakan tumbuhan akan memasuki tahap fase generatif. Fase generatif merupakan fase tumbuhan bisa menyerap kontaminan secara optimal (Herrena, 2017).

Pengamatan terhadap *growth rate* dilakukan pada pengamatan tumbuhan secara fisik. Pengamatan terhadap *growth rate* dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik *E. crassipes* berupa lebar daun dan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4. 3 Reaktor Propagasi**

Berdasarkan hasil pengamatan selama satu bulan, maka didapatkan data lebar daun sebagai berikut.



**Gambar 4. 4 Grafik Lebar Daun Tahap Propagasi**

#### **4.3. Tahap Aklimatisasi Tumbuhan**

Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan dapat beradaptasi dengan kondisi atau media yang akan digunakan untuk penelitian utama. Proses aklimatisasi ini dilakukan selama 7 hari (Tangahu dan Ningsih, 2016). Pada proses aklimatisasi, media yang digunakan adalah air PDAM. Pengamatan pada tumbuhan *E.crassipes* yaitu melihat keadaan tumbuhan yang hidup dalam keadaan tidak mati dan tidak layu kemudian dipilih untuk uji biodekolorisasi.

#### **4.4. Tahap Pengolahan oleh tumbuhan**

Tahap pengolahan oleh tumbuhan dilaksanakan setelah tahap aklimatisasi tumbuhan dengan menggunakan tumbuhan *E. crassipes* dan bioaugmentasi bakteri *B. subtilis* dan *P. aeruginosa* secara tunggal. Reaktor yang digunakan pada tahap pengolahan oleh tumbuhan merupakan reaktor *batch* dengan ukuran 20 liter. Limbah tekstil yang digunakan merupakan limbah artifisial yang terbuat dari pewarna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet dengan konsentrasi yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya, yaitu 23 mg/L (Herrena, 2017).

Setiap warna memiliki 6 buah reaktor yang berisi volume limbah artifisial, yaitu 2 reaktor tumbuhan dan bioaugmentasi bakteri (RA), 2 reaktor kontrol bakteri (RB), dan 2 reaktor kontrol warna (RC). Volume limbah artifisial yang digunakan pada tahap

pengolahan oleh tumbuhan sebanyak 10 liter per reaktor. Pada tahap ini, bioaugmentasi bakteri *B. subtilis* dan *P. aeruginosa* pada reaktor RA sebanyak 5% dari volume limbah. Sebelum membuat media warna dan augmentasi bakteri ke dalam reaktor, jumlah *E. crassipes* yang dimasukkan perlu dihitung. Berikut adalah perhitungan jumlah *E. crassipes* yang digunakan pada setiap reaktor

➤ Jumlah *E. crassipes* pada reaktor pewarna Rhodamin B

- Beban warna pada media = Konsentrasi x Vol. Air  
= 23 mg/L x 10 L  
= 230 mg = 0,23 gram
- Kemampuan penyerapan Rhodamin B oleh *E. crassipes* = 0,09 gr warna/gr berat kering (Herrena, 2017)
- Berat kering tanaman untuk menyerap warna Rhodamin B

$$= \frac{\text{Beban warna}}{\text{Kemampuan tumbuhan}}$$

$$= \frac{0,23 \text{ gram Rhodamin B}}{0,09 \text{ gram}_{\text{berat kering}}^{\text{RB}}}$$

$$= 2,5 \text{ gram berat kering}$$

- Jumlah min. tanaman =  $\frac{\text{Berat kering tanaman thd warna}}{\text{Berat kering}}$   
=  $\frac{2,5 \text{ gram berat kering}}{1,2127 \frac{\text{gram berat kering}}{\text{tanaman}} \text{ (Herrena, 2017)}}$   
= 2,1 ~ 3 tanaman per reaktor

➤ Jumlah *E. crassipes* pada reaktor pewarna Metilen Biru

- Beban warna pada media = Konsentrasi x Vol. Air  
= 23 mg/L x 10 L  
= 230 mg = 0,23 gram
- Kemampuan penyerapan Metilen Biru oleh *E. crassipes* = 0,11 gr warna/gr berat kering (Herrena, 2017)
- Berat kering tanaman untuk menyerap warna Metilen Biru

$$= \frac{\text{Beban warna}}{\text{Kemampuan tumbuhan}}$$

$$= \frac{0,23 \text{ gram Rhodamin B}}{0,11 \text{ gram}_{\text{berat kering}}^{\text{RB}}}$$

$$= 2,5 \text{ gram berat kering}$$

- Jumlah min. tanaman =  $\frac{\text{Berat kering tanaman thd warna}}{\text{Berat kering}} = \frac{2,1 \text{ gram berat kering}}{1,2127 \frac{\text{gram berat kering}}{\text{tanaman}} \text{ (Herrena,2017)}}$   
= 1,7 ~ 2 tanaman per reaktor

➤ Jumlah *E. crassipes* pada reaktor pewarna Metil Violet

- Beban warna pada media = Konsentrasi x Vol. Air  
= 23 mg/L x 10 L  
= 230 mg = 0,23 gram
- Kemampuan penyerapan Metil Violet oleh *E. crassipes* = 0,08 gr warna/gr berat kering (Herrena, 2017)
- Berat kering tanaman untuk menyerap warna Metilen Biru  
=  $\frac{\text{Beban warna}}{\text{Kemampuan tumbuhan}}$

$$= \frac{0,23 \text{ gram Rhodamin B}}{0,08 \text{ gram} \frac{\text{RB}}{\text{berat kering}}}$$

$$= 2,875 \text{ gram berat kering}$$

- Jumlah min. tanaman =  $\frac{\text{Berat kering tanaman thd warna}}{\text{Berat kering}} = \frac{2,875 \text{ gram berat kering}}{1,2127 \frac{\text{gram berat kering}}{\text{tanaman}} \text{ (Herrena,2017)}}$   
= 2,4 ~ 3 tanaman per reaktor

Setelah perhitungan jumlah tanaman yang digunakan pada reaktor, maka diperlukan perhitungan pembuatan limbah artifisial untuk tahap pengolahan oleh tumbuhan. Pada tahap pengolahan oleh tumbuhan, setiap warna memiliki 6 reaktor yang diisi oleh 10 L limbah artifisial dengan konsentrasi 23 mg/L. Limbah artifisial dibuat dengan membuat larutan stok terlebih dahulu. Larutan stok dibuat dengan melarutkan bubuk warna ke dalam air PDAM. Perhitungan dapat dilihat di bawah ini :

- Volume larutan stok yang diperlukan untuk 10 L limbah artifisial 23 mg/L per reaktor

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$2300 \text{ mg/L} \times V_1 = 23 \text{ mg/L} \times 10 \text{ L}$$

- |   |                   |                                     |
|---|-------------------|-------------------------------------|
|   | V1                | = 0,1 L                             |
|   |                   | = 100 mL                            |
| • | Vol. Larutan stok | = 100 mL x 6 reaktor/warna          |
|   |                   | = 600 mL/warna                      |
| • | Berat bubuk warna | = Konsentrasi lar. stok x Vol. stok |
|   |                   | = 2300 mg/L x 0,6 L                 |
|   |                   | = 1380 mg = 1,38 gram               |

Selanjutnya, bakteri yang akan diaugmentasi kepada tanaman sebanyak 5% (v/v) dari volume air limbah, sehingga volume bakteri yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- Volume bakteri = 5% x Volume air limbah  
= 5% x 10 L  
= 0,5 L = 500 mL

Berdasarkan hasil perhitungan, bakteri yang akan diaugmentasi ke dalam reaktor sejumlah 500 mL. Gambar 4.5 menunjukkan kondisi reaktor yang digunakan untuk tahap pengolahan oleh tumbuhan.



**Gambar 4. 5 Kondisi Reaktor**

#### **4.5. Analisis Konsentrasi Warna**

Analisis pada konsentrasi warna dilakukan dengan membaca hasil sampel di spektrofotometer. *Sampling* dilakukan dengan cara mengambil limbah artifisial pada 10 titik dengan kedalaman dan letak yang berbeda sebanyak 10 mL per reaktor.



Kemudian sampel dimasukkan ke dalam centrifuge dengan kecepatan 5000 rpm selama 20 menit lalu dibaca di spektrofotometer. Tiap warna memiliki panjang gelombang yang berbeda pada spektrofotometer.

Berdasarkan hasil analisis panjang gelombang setiap warna, yaitu rhodamin B dengan panjang gelombang 554 nm, metil violet dengan panjang gelombang 580 nm, dan metilen biru dengan panjang gelombang 668 nm. Hasil pembacaan spektrofotometer kemudian diletakkan pada kurva kalibrasi yang telah dibuat untuk diketahui konsentrasinya.

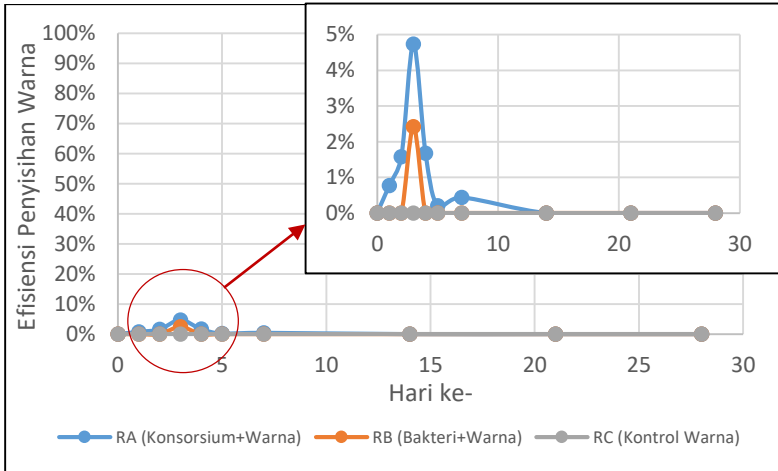
#### **4.5.1. Analisis Konsentrasi Warna Rhodamin B**

Penelitian ini terdiri dari tiga reaktor, yaitu RA merupakan reaktor berisi pewarna, dan konsorsium antara *E. crassipes* dan bakteri. Sedangkan RB merupakan reaktor berisi bakteri dan pewarna, dan RC merupakan reaktor yang hanya berisi pewarna sebagai reaktor kontrol. Penelitian dilaksanakan sebanyak dua kali berdasarkan penggunaan jenis bakteri pada perlakuan bioaugmentasi untuk menghindari kontaminasi.

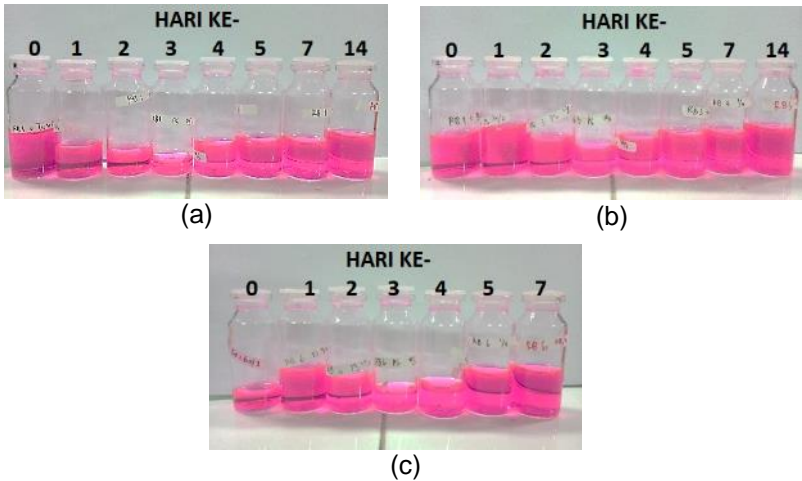
##### **A. Variabel Bakteri *B. subtilis***

Penelitian yang pertama menggunakan bakteri *B. subtilis* untuk RA dan RB. Gambar 4.6 menunjukkan persentase penyisihan warna Rhodamin B. Berdasarkan hasil dari pengolahan oleh tumbuhan yang telah dilaksanakan selama 28 hari, nilai efisiensi penyisihan tertinggi terdapat pada hari ke-3 untuk RA dan RB. Pada hari ke-3 RA memiliki nilai efisiensi penyisihan warna sebesar 4,7% dan RB sebesar 2,4%. Sedangkan pada RC tidak terdapat penyisihan warna sama sekali. Gambar 4.7 a, b, c menunjukkan perubahan warna pada RA, RB, dan RC selama 14 hari.

Nilai efisiensi penyisihan warna yang bernilai rendah ini sesuai dengan hasil dari uji potensi bakteri *B. subtilis* terhadap warna Rhodamin B yang hanya mencapai 0,41%. Tidak adanya penyisihan warna rhodamin B pada RA mengindikasikan bahwa jenis polutan ini menghambat interaksi antara mikroorganisme dengan tumbuhan (Afzal *et al.*, 2014).



**Gambar 4. 6 Persentase Penyisihan Warna Rhodamin B**

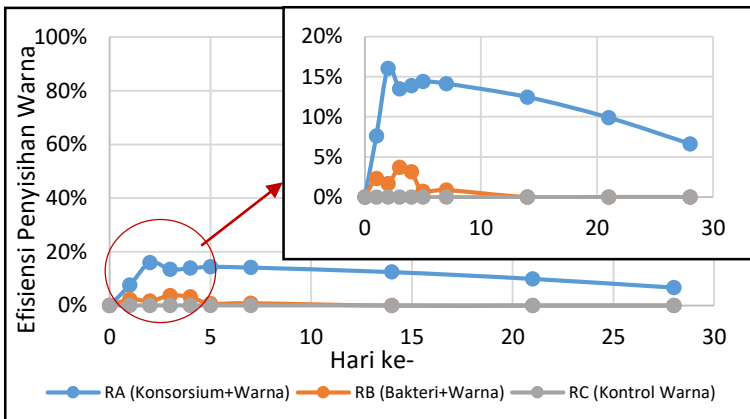


**Gambar 4. 7 Rhodamin B pada RA (a) ; Rhodamin B pada RB (b) ; Rhodamin B pada RC (c)**

## B. Variabel Bakteri *P. aeruginosa*

Gambar 4.8 menunjukkan persentase penyisihan warna Rhodamin B dengan variabel *P. aeruginosa*. Setelah dilakukan tahap pengolahan oleh tumbuhan selama 28 hari, diketahui bahwa penyisihan warna oleh konsorsium pada RA sebesar 6,6%, pada RB sebesar 0%, dan pada RC sebesar 0%. Namun, efisiensi penyisihan efektif pada terjadi pada hari ke-2, yaitu dimana RA memiliki efisiensi 16%, RB dengan efisiensi 3,4%, dan RC dengan efisiensi 0%.

Nilai efisiensi penyisihan warna yang rendah ini sesuai dengan hasil dari uji potensi bakteri *P. aeruginosa* terhadap warna Rhodamin B yang hanya mencapai 0,35%. Reaktor dengan bioaugmentasi *P. aeruginosa* memiliki nilai lebih tinggi dari *B. subtilis* dikarenakan kemampuannya dalam memecah ikatan benzen pada pewarna lebih tinggi (Purnamawati *et al*, 2005).



**Gambar 4. 8 Persentase Penyisihan Rhodamin B**



(a)



(b)



(c)

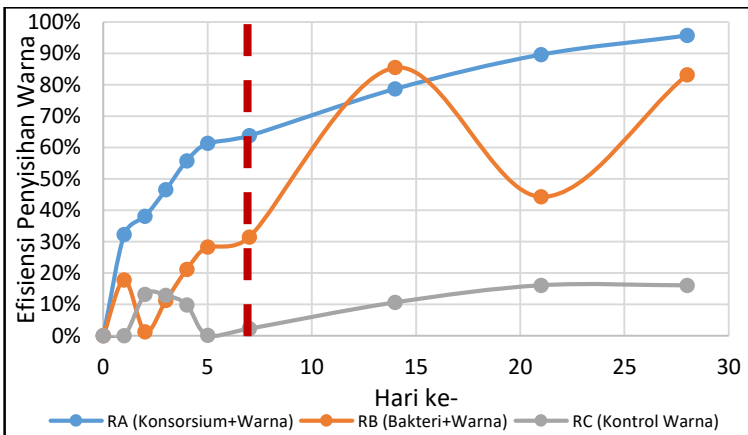
**Gambar 4. 9 Rhodamin B pada RA (a) ; Rhodamin B pada RB (b) ; Rhodamin B pada RC (c)**

#### 4.5.2. Analisis Konsentrasi Warna Metilen Biru

Penelitian ini terdiri dari tiga reaktor, yaitu RA merupakan reaktor berisi pewarna, dan konsorsium antara *E. crassipes* dan bakteri. Sedangkan RB merupakan reaktor berisi bakteri dan pewarna, dan RC merupakan reaktor yang hanya berisi pewarna sebagai reaktor kontrol.

##### A. Bioaugmentasi Bakteri *B. subtilis*

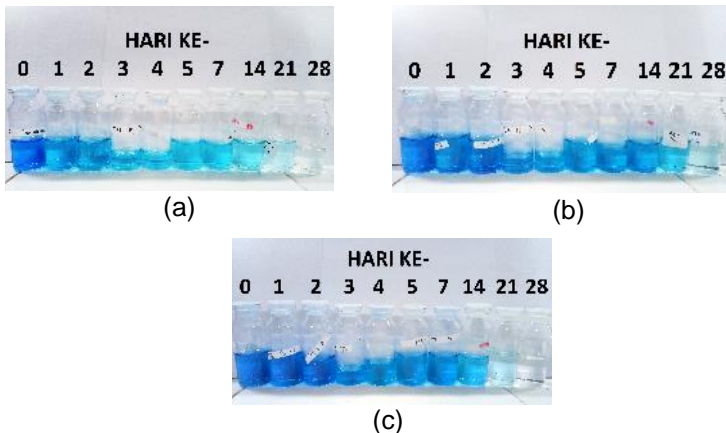
Penelitian dilaksanakan sebanyak dua kali berdasarkan penggunaan jenis bakteri pada konsorsium untuk menghindari kontaminasi. Konsorsium yang pertama kali menggunakan bakteri *B. subtilis* untuk RA dan RB.



**Gambar 4. 10 Persentase Penyisihan Metilen Biru**

Gambar 4.10 menunjukkan persentase penyisihan warna Metilen Biru. Berdasarkan hasil dari tahap pengolahan oleh tumbuhan yang telah dilaksanakan selama 28 hari, RA memiliki nilai efisiensi akhir sebesar 96%, RB sebesar 83%, dan RC sebesar 16%.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa penyisihan paling efektif terjadi pada hari ke-7 dimana RA memiliki nilai efisiensi 64%, sedangkan RB 31%, dan RC hanya 2%. Hal ini jauh lebih efektif dibandingkan penelitian sebelumnya (Herrena, 2017) yaitu penyisihan warna metilen biru oleh *E. crassipes* tanpa adanya penambahan bakteri hanya mencapai nilai 59% dalam waktu 30 hari.



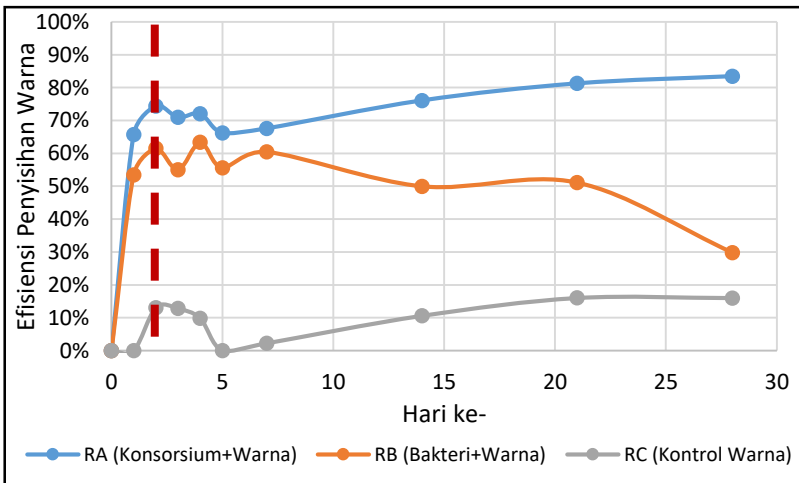
**Gambar 4. 11 Metilen Biru pada RA (a) ; Metilen Biru pada RB (b) ; Metilen Biru pada RC (c)**

Nilai efisiensi yang lebih tinggi pada RA dibandingkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bioaugmentasi bakteri terhadap tanaman eceng gondok dapat meningkatkan efisiensi penyisihan warna. Hal ini mengindikasikan adanya proses rizodegradasi dimana bakteri berperan penting dalam penguraian di zona akar (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010) dengan mensekresi enzim *azoreductase* yang dapat memecah ikatan azo pada pewarna menjadi senyawa yang lebih sederhana (Saratale *et al.*, 2011).

Walaupun demikian, penyisihan warna terjadi juga pada reaktor kontrol. Hal ini dapat dilihat pada RC *B. subtilis*, dimana pada hari ke-28 memiliki nilai efisiensi penyisihan lebih tinggi dibandingkan RA dan RB. Hal ini dapat disebabkan adanya mikroorganismenya *indigenous* yang ada dalam air sehingga dapat melakukan proses degradasi pada warna tersebut. Selain itu, adanya sinar matahari sedikit banyak dapat mendegradasi warna melalui proses fotodegradasi. Proses fotodegradasi dapat berlangsung cepat di bawah paparan sinar matahari (Daneshvar *et al.*, 2004).

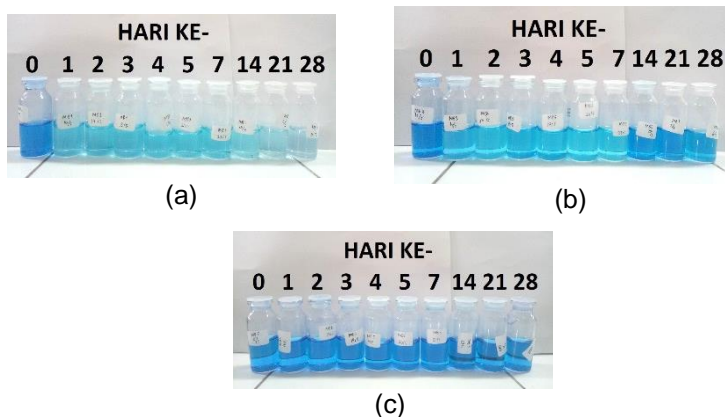
### B. Variabel Bakteri *P. aeruginosa*

Pada konsorsium menggunakan bakteri *P. aeruginosa* juga terdapat reaktor RA dengan perlakuan konsorsium dan media warna, reaktor RB dengan perlakuan bakteri dan media warna sebagai kontrol bakteri, dan reaktor RC berisi media warna tanpa perlakuan sebagai kontrol warna. Gambar 4.12 menunjukkan persentase penyisihan warna Metilen Biru oleh bakteri *P. aeruginosa*.



**Gambar 4. 12 Persentase Penyisihan Warna Metilen Biru**

Setelah dilakukan tahap pengolahan oleh tumbuhan selama 28 hari, diketahui bahwa penyisihan warna Metilen Biru pada RA sebesar 83%, pada RB sebesar 30%, dan pada RC sebesar 16%. Namun, efisiensi penyisihan warna paling efektif terjadi pada hari ke-2 dimana RA memiliki efisiensi sebesar 74%, RB sebesar 61%, dan RC sebesar 13%. Hal ini jauh lebih efektif dibandingkan penelitian sebelumnya (Herrena, 2017) yaitu penyisihan warna metilen biru oleh *E. crassipes* tanpa adanya penambahan bakteri hanya mencapai nilai 59% dalam waktu 30 hari.



**Gambar 4. 13 Metilen Biru pada RA (a) ; Metilen Biru pada RB (b) ; Metilen Biru pada RC (c)**

Sama halnya dengan penyisihan warna RA metilen biru dengan *B. subtilis*, nilai efisiensi RA *P. aeruginosa* memiliki nilai lebih besar dibanding RB, dan RC. Hal ini dikarenakan adanya proses rizodegrasi dimana bakteri berperan penting dalam penguraian di zona akar (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010) dengan mensekresi enzim *azoreductase* yang dapat memecah ikatan azo pada pewarna menjadi senyawa yang lebih sederhana (Saratale *et al.*, 2011).

Pada Gambar 4.12, efisiensi penyisihan warna oleh reaktor kontrol bakteri mengalami kenaikan pada 2 hari awal, kemudian menurun hingga secara drastis pada hari ke-28. Menurut Pearce

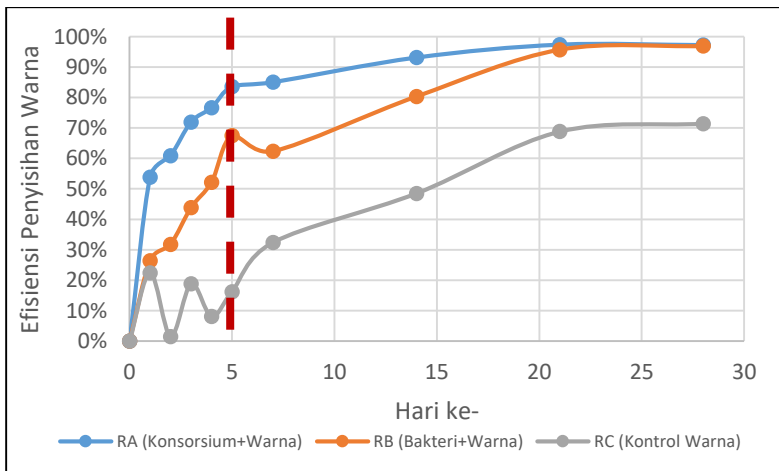
(2003) mekanisme pengolahan warna oleh bakteri tidak cocok apabila dilakukan dalam jangka waktu yang lama. Hal ini karena selama proses adsorpsi, pewarna terkonsentrasi ke biomassa dan akan menjadi jenuh seiring waktu.

#### 4.5.3. Analisis Konsentrasi Warna Metil Violet

Penelitian ini terdiri dari tiga reaktor, yaitu RA merupakan reaktor berisi pewarna, dan konsorsium antara *E. crassipes* dan bakteri. Sedangkan RB merupakan reaktor berisi bakteri dan pewarna, dan RC merupakan reaktor yang hanya berisi pewarna sebagai reaktor kontrol.

##### A. Bioaugmentasi Bakteri *B. subtilis*

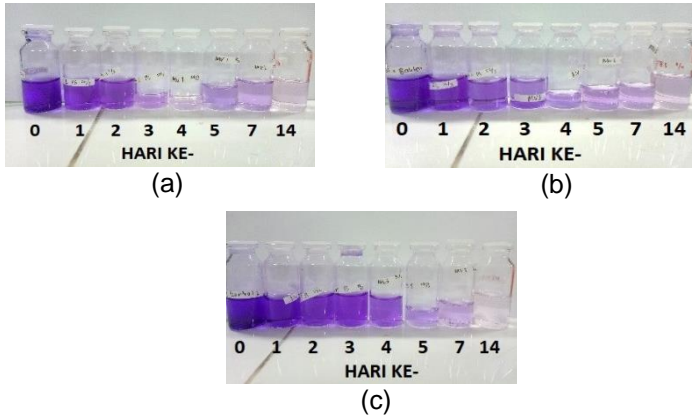
Penelitian dilaksanakan sebanyak dua kali berdasarkan penggunaan jenis bakteri untuk menghindari kontaminasi. Penelitian yang pertama menggunakan *B. subtilis* untuk RA dan RB. Gambar 4.14 menunjukkan persentase penyisihan warna Metil Violet. Berdasarkan hasil dari tahap pengolahan oleh tumbuhan yang telah dilaksanakan selama 28 hari, RA memiliki nilai efisiensi akhir sebesar 97%, RB sebesar 97%, dan RC sebesar 71%.



**Gambar 4. 14 Persentase Penyisihan Warna Metil Violet**



Pada hari ke-28, nilai efisiensi RA, RB, dan RC berada pada nilai tertinggi. Gambar 4.14 a, b, c menunjukkan perubahan warna metil violet pada RA, RB, dan RC selama 14 hari.



**Gambar 4. 15 Metil Violet pada RA (a) ; Metil Violet pada RB (b) ; Metil Violet pada RC (c)**

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa penyisihan paling efektif terjadi pada hari ke-5 dimana RA memiliki nilai efisiensi 84%, RB memiliki nilai efisiensi 67% dan reaktor kontrol memiliki nilai efisiensi 16%. Hal ini jauh lebih efektif dibandingkan penelitian sebelumnya (Herrena, 2017) yaitu penyisihan warna metilen biru oleh *E. crassipes* tanpa ada penambahan bakteri hanya mencapai nilai 51% dalam waktu 30 hari.

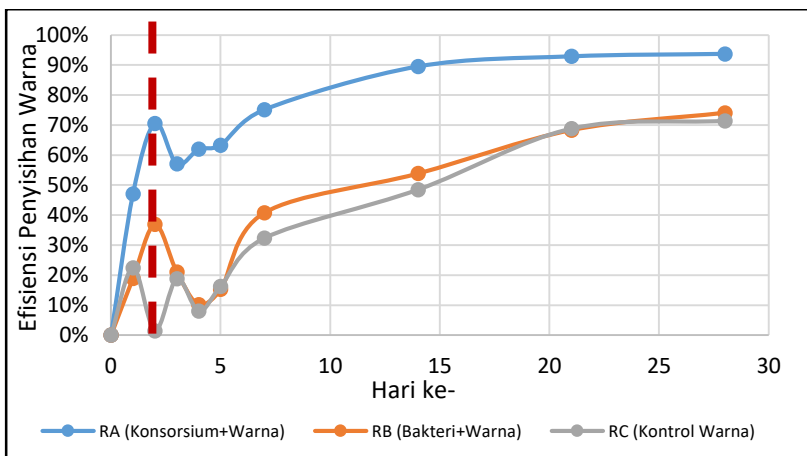
Nilai efisiensi penyisihan pada RA di hari efektif melebihi pada RB dan RC. Hal ini menunjukkan bahwa bioaugmentasi bakteri meningkatkan efisiensi dengan adanya simbiosis antara bakteri dengan akar tumbuhan. Tanaman berperan mengeluarkan senyawa metabolit dari akar sebagai sumber energi bakteri seperti eksudat, sekresi, *mucilage*, *mucigel* dan *lysate* (Sylvia *et al.*, 2005). Tanaman juga bereperan untuk mengabsorpsi pewarna yang dibuktikan dengan uji *Plant Cell Analysis*. Sedangkan bakteri berperan dalam mendegradasi warna dengan mensekresi enzim

azoreductase menjadi senyawa lebih sederhana (Saratale *et al.*, 2011)

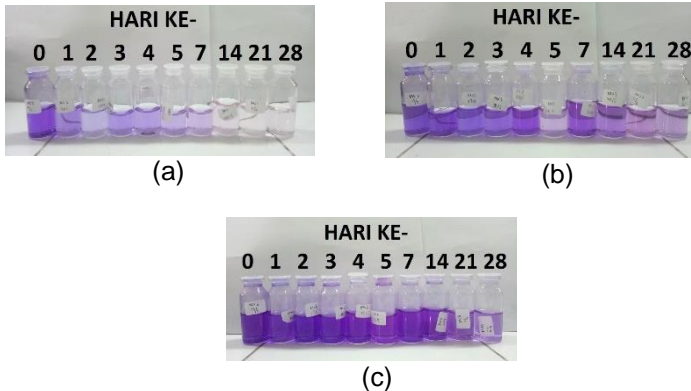
Walaupun demikian, RC menunjukkan nilai efisiensi penyisihan warna yang semakin tinggi seiring waktu. Hal ini dapat disebabkan adanya mikroorganisme *indigenous* yang ada dalam air sehingga dapat melakukan proses degradasi pada warna tersebut. Selain itu, terdapat proses fisik seperti pengendapan dan adanya sinar matahari sedikit banyak dapat mendegradasi warna melalui proses fotodegradasi. Proses fotodegradasi dapat berlangsung cepat di bawah paparan sinar matahari (Daneshvar *et al.*, 2004).

## B. Konsorsium Bakteri *P. aeruginosa*

Pada konsorsium menggunakan bakteri *P. aeruginosa* juga terdapat reaktor RA dengan perlakuan konsorsium dan media warna, reaktor RB dengan perlakuan bakteri dan media warna sebagai kontrol bakteri, dan reaktor RC berisi media warna tanpa perlakuan sebagai kontrol warna. Gambar 4.16 menunjukkan persentase penyisihan warna Metil Violet dengan variabel bakteri *P. aeruginosa*.



**Gambar 4. 16 Persentase Penyisihan Warna Metil Violet**



**Gambar 4. 17 Metil Violet pada RA (a) ; Metil Violet pada RB (b) ; Metil Violet pada RC (c)**

Setelah dilakukan tahap pengolahan oleh tumbuhan selama 28 hari, diketahui bahwa penyisihan warna Metil Violet oleh konsorsium pada RA sebesar 94%, pada RB sebesar 74%, dan pada RC sebesar 71%. Namun, efisiensi penyisihan warna paling efektif terjadi pada hari ke-2 dimana efisiensi penyisihan warna oleh RA adalah 71%, RB senilai 37%, dan RC senilai 1%.

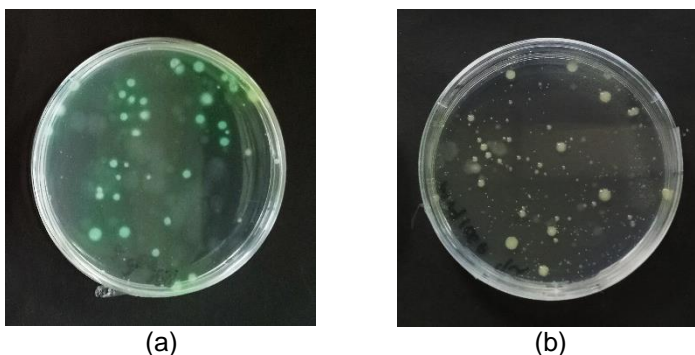
Sama halnya dengan penyisihan warna RA metilen biru dengan *B. subtilis*, nilai efisiensi RA *P. aeruginosa* memiliki nilai lebih besar dibanding RB, dan RC. Hal ini dikarenakan adanya proses rizodegrasi dimana bakteri berperan penting dalam penguraian di zona akar (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010) dengan mensekresi enzim *azoreductase* yang dapat memecah ikatan azo pada pewarna menjadi senyawa yang lebih sederhana (Saratale *et al.*, 2011). Tanaman sendiri berperan mengeluarkan senyawa metabolit dari akar sebagai sumber energi bakteri seperti eksudat, sekresi, *mucilage*, *mucigel* dan *lysate* (Sylvia *et al.*, 2005).

Di satu sisi, RC menunjukkan nilai efisiensi penyisihan warna yang semakin tinggi seiring waktu. Hal ini dapat disebabkan adanya mikroorganismenya *indigenous* yang ada dalam air sehingga dapat melakukan proses degradasi pada warna tersebut. Selain itu, terdapat proses fisik seperti pengendapan dan adanya sinar matahari sedikit banyak dapat mendegradasi warna melalui proses

photodegradation. The photodegradation process can proceed quickly under sunlight (Daneshvar *et al.*, 2004).

#### 4.6. Analisis Hasil CFU

CFU test is intended to count the number of microorganisms in a sample accurately and correctly. In this method, dilution is used, which requires dilution before growing on a medium in a petri dish. The medium used is a selective medium so that only the bacteria to be studied will grow. This makes it easier to observe bacterial growth on the medium. In this study, the bacteria to be studied are *B. subtilis* and *P. aeruginosa*. Figure 4.18 shows the results of CFU using a selective medium. Figure 4.18(a) shows the results of CFU for *P. aeruginosa* on a selective medium, Cetrimid-Agar from Merck. Colonies that form on a selective medium will be light green. Meanwhile, Figure 4.18(b) shows the results of CFU for *B. subtilis* on a selective medium, Bacillus Differentiation Agar from Himedia. Colonies that form on a selective medium will be yellow.

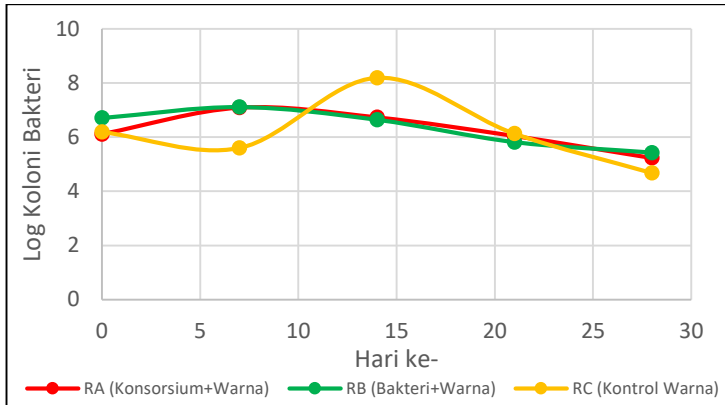


**Gambar 4. 18 Koloni yang Terbentuk pada Media Selektif**

#### A. Hasil CFU pada Rhodamin B

Results of log CFU test of *B. subtilis* bacteria on a reactor with rhodamine B can be seen in Figure 4.19. In the graph mentioned, from day 0 to day 7, the number of *B. subtilis* colonies on RA and RB increased. The number of colonies

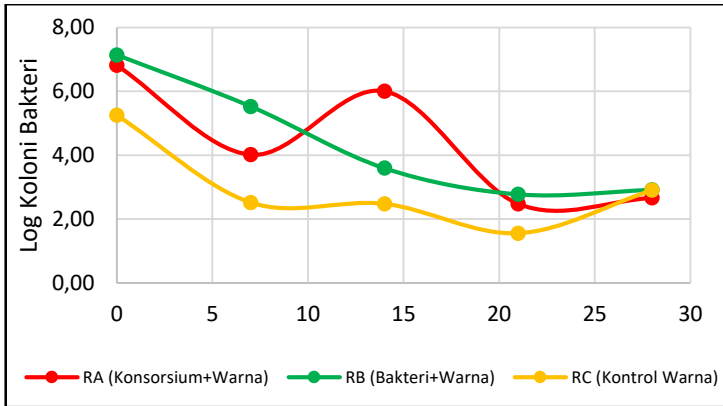
bakteri menandakan adanya aktivitas perkembangbiakan bakteri. Namun, setelah hari ke-7 jumlah koloni berangsur turun. Walaupun penyisihan warna oleh *B. subtilis* nilainya rendah, namun hasil CFU menunjukkan bahwa eksistensi bakterinya masih ada, namun tidak dapat melakukan degradasi pewarna secara optimal.



**Gambar 4. 19 Log Uji CFU *B. subtilis* pada Rhodamin B**

Sedangkan hasil log uji CFU bakteri *P. aeruginosa* pada reaktor warna rhodamin B dapat dilihat pada Gambar 4.20. Pada grafik tersebut sejak hari ke-0 hingga hari ke-7, jumlah koloni bakteri *P. aeruginosa* pada RA dan RB mengalami penurunan secara terus menerus. RC sendiri mengalami kenaikan setelah hari ke-7 dengan puncak di hari ke-14 yang bisa disebabkan oleh bakteri *indigenous* pada media, kemudian berangsur turun.

Penurunan jumlah koloni mengindikasikan bahwa bakteri belum bisa berkembang biak secara optimal pada pewarna rhodamin B dan mengindikasikan bakteri telah memasuki fase kematian. Hal ini dapat disebabkan nutrisi di dalam medium yang sudah habis dan energi cadangan di dalam sel habis (Hamdiyati, 2011).

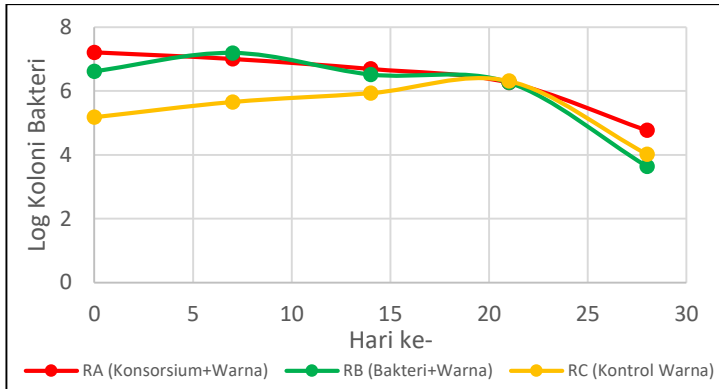


**Gambar 4. 20 Log Uji CFU *P. aeruginosa* pada Rhodamin B**

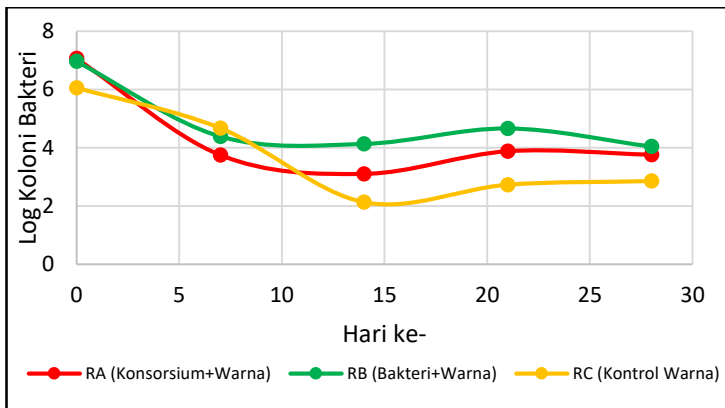
### B. Hasil CFU pada Metilen Biru

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat koloni bakteri *B. subtilis* pada RA menunjukkan penurunan yang stabil sejak hari ke-0. Sedangkan pada RB mengalami kenaikan hingga hari ke-7, kemudian mengalami penurunan secara kontinyu. Sedangkan *B. subtilis* pada RC mengalami kenaikan sejak hari ke-0 hingga hari ke-21 kemudian mengalami penurunan. Kenaikan jumlah koloni bakteri menandakan adanya perkembangan biakan bakteri pada media dan aktivitas degradasi warna. Sedangkan penurunan yang terjadi menunjukkan bakteri memasuki fase kematian. Biasanya pada tahap akhir penanganan limbah banyak bakteri heterotrof yang mati karena kekurangan nutrisi/senyawa organik (Parwanayoni, 2008).

Sedangkan pada Gambar 4.22 bakteri *P. aeruginosa* pada RA dan RB metilen biru menunjukkan penurunan secara terus menerus sejak hari ke-0. Hal ini berarti bakteri yang diaugmentasi belum bisa berkembang biak secara optimal pada pewarna metilen biru. Sedangkan RC yang merupakan reaktor kontrol warna tanpa adanya augmentasi bakteri menunjukkan adanya *P. aeruginosa* sebagai bakteri *indigenous* walaupun jumlahnya lebih sedikit dari RA dan RB.



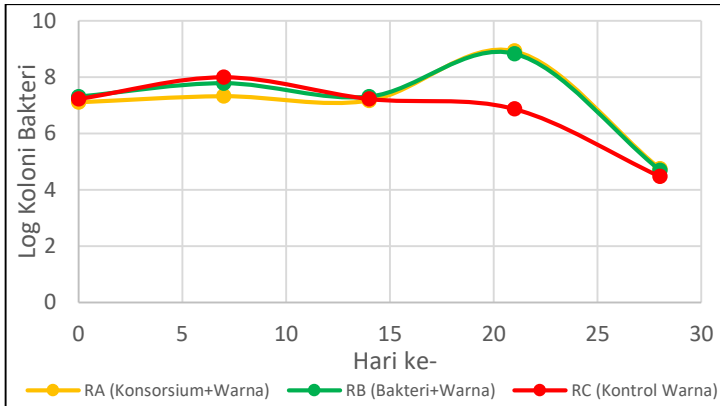
**Gambar 4. 21 Log Uji CFU *B. subtilis* pada Metilen Biru**



**Gambar 4. 22 Log Uji CFU *P. aeruginosa* pada Metilen Biru**

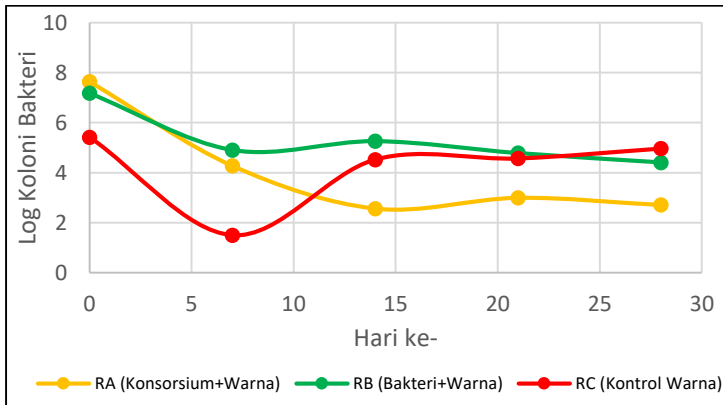
### C. Hasil CFU pada Metil Violet

Pada Gambar 4.23 RA pada metil violet menunjukkan kenaikan dari hari ke-0 hingga pada hari ke-7 kemudian terjadi penurunan. Sedangkan untuk reaktor RB dan RC memiliki tren yang hampir sama yaitu mengalami kenaikan puncak pada hari ke-21, kemudian terjadi penurunan setelahnya.



**Gambar 4. 23 Log Uji CFU *B. subtilis* pada Metil Violet**

Pada Gambar 4.24 reaktor RA pada metil violet menunjukkan penurunan yang konstan hingga hari ke-28. Sedangkan reaktor RB mengalami penurunan pada 7 hari awal, kemudian mengalami fase stabil cenderung menurun hingga hari ke-28. Penurunan Reaktor RC mengalami penurunan pada 7 hari awal, kemudian mengalami kenaikan pada hari ke-14, dan stabil hingga hari ke-28.



**Gambar 4. 24 Log Uji CFU *P. aeruginosa* pada Metil Violet**

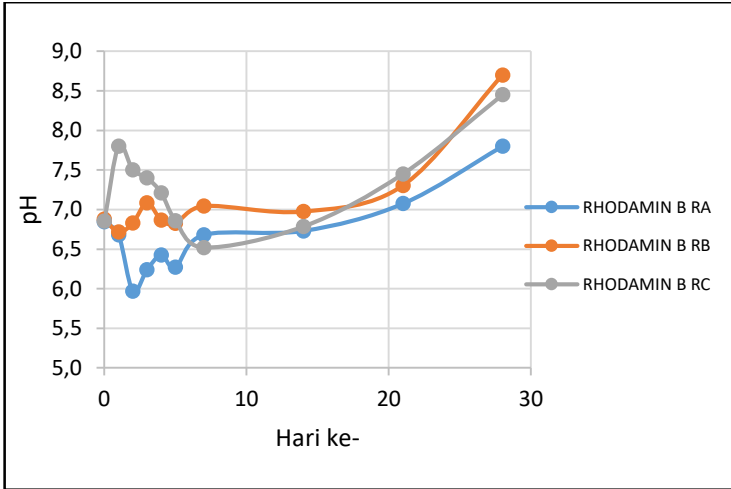


#### 4.7. Analisis pH

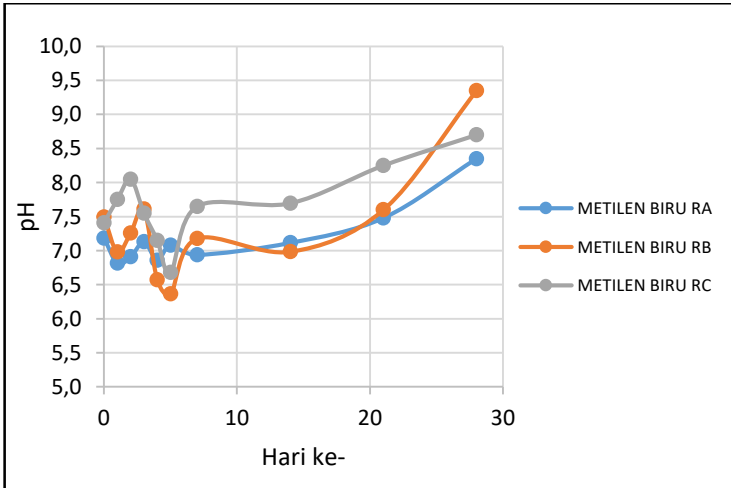
pH media merupakan faktor penting terhadap proses dekolorisasi. pH memiliki efek yang besar terhadap efisiensi penyisihan warna, dan pH optimal untuk penyisihan warna biasanya berkisar antara 6,0 -10. Selain itu, pH merupakan parameter penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme (Gregory, 2006) sehingga analisis pH juga bertujuan untuk memastikan pH masih dalam *range* perkembangan biakan bakteri dan memantau aktivitas bakteri. Pemantauan pH juga dilakukan untuk memastikan pH masih dalam *range* untuk pertumbuhan *E. crassipes*.

Menurut El Gendy *et al.* (2004) diketahui bahwa *E. crassipes* dapat tumbuh pada rentang pH 4,4-10,0. Bakteri *B. subtilis* diketahui dapat hidup pada rentang pH 5-9 (Cheng dan Li, 2009), sedangkan *P. aeruginosa* dapat hidup pada rentang pH 6-9 (Rahman *et al.*, 2005). Gambar 4.25, 4.26, 4.27 menunjukkan grafik pH pada RA, RB, RC dengan variabel yang digunakan adalah *B. subtilis*. Sedangkan Gambar 4.28, 4.29, 4.30 menunjukkan pH pada RA, RB, RC dengan variabel *P. aeruginosa*.

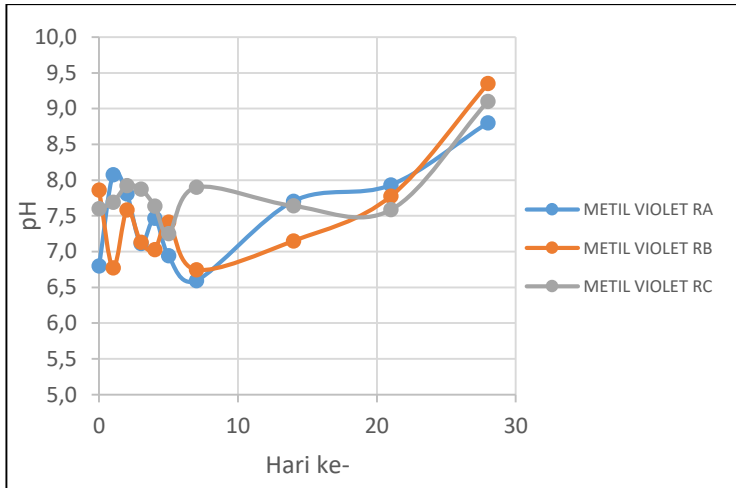
Penurunan dan kenaikan pH menunjukkan bahwa pada reaktor tersebut terjadi proses aktivitas pertumbuhan bakteri (Imron, 2017). Penurunan pH pada bakteri dapat disebabkan karena adanya aktivitas pertumbuhan bakteri. Aktivitas tersebut menyebabkan terbentuknya asam – asam sederhana dan karbondioksida akibat pemecahan senyawa organik (Abat, 2006). Sedangkan kenaikan pH pada media yang mengandung bakteri disebabkan adanya aktivitas bakteri serta penumpukan sel mati dari bakteri. Kenaikan pH juga menandakan bahwa fase pertumbuhan bakteri telah mendekati fase stasioner (Gaudy dan Gaudy, 1980).



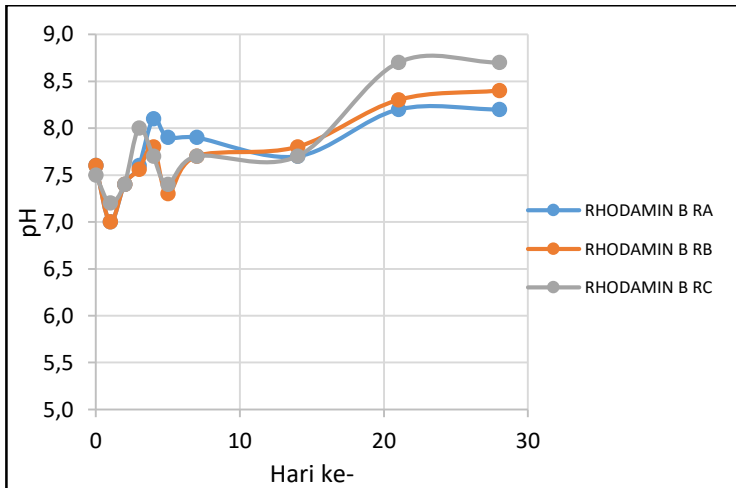
**Gambar 4. 25 Grafik pH pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel *B. subtilis***



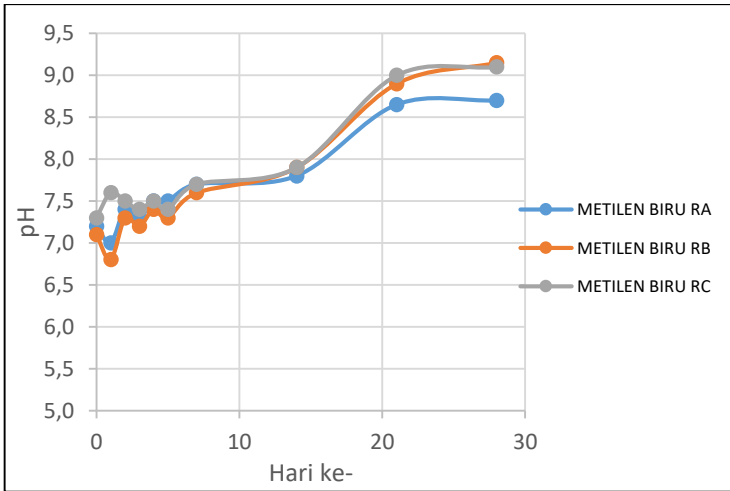
**Gambar 4. 26 Grafik pH pada Reaktor Metylen Biru dengan Variabel *B. subtilis***



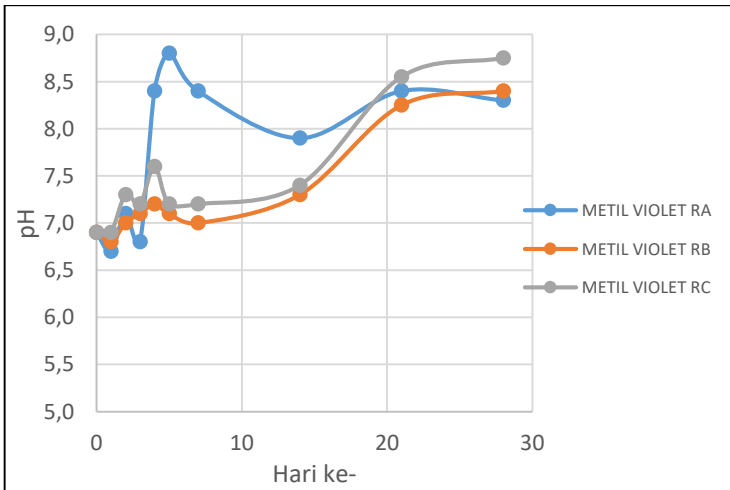
**Gambar 4. 27** Grafik pH pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel *B. subtilis*



**Gambar 4. 28** Grafik pH pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel *P. aeruginosa*



**Gambar 4. 29 Grafik pH pada Reaktor Metilena Biru dengan Variabel *P. aeruginosa***



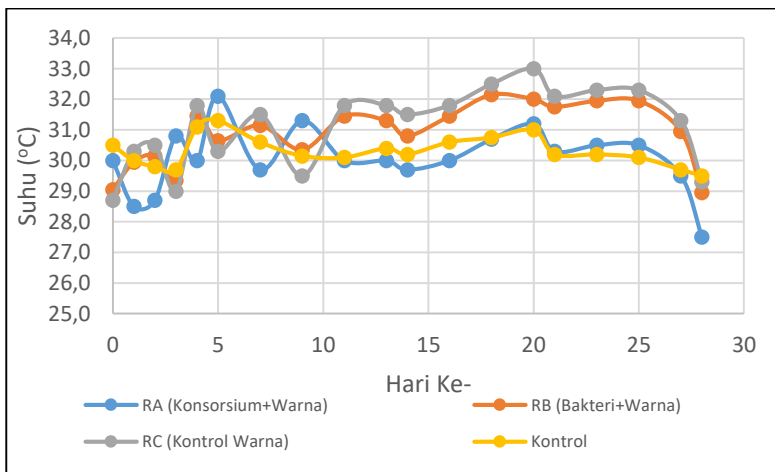
**Gambar 4. 30 Grafik pH pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel *P. aeruginosa***

#### 4.8. Analisis Suhu

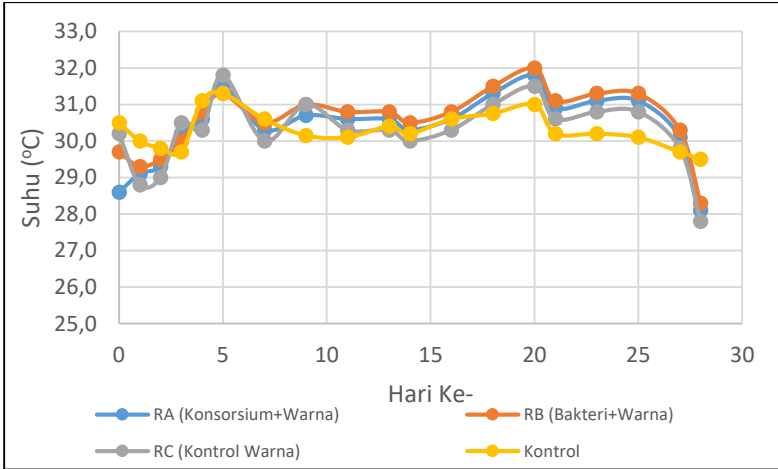
Suhu merupakan parameter yang diamati pada penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk memantau supaya suhu masih dalam *range* tumbuh bakteri dan tumbuhan. Suhu diukur menggunakan termometer langsung ke dalam reaktor.

Suhu yang optimum untuk pertumbuhan *E. crassipes* adalah 24-30°C (Herrena, 2017). *Bacillus subtilis* merupakan bakteri mesofilik yang dapat hidup dengan rentang suhu 20 – 40°C (Imron, 2015), sedangkan *Pseudomonas aeruginosa* tumbuh dengan baik pada suhu 25 – 37°C, namun masih bisa bertahan pada suhu 42°C (Tang *et al.*, 2015) .

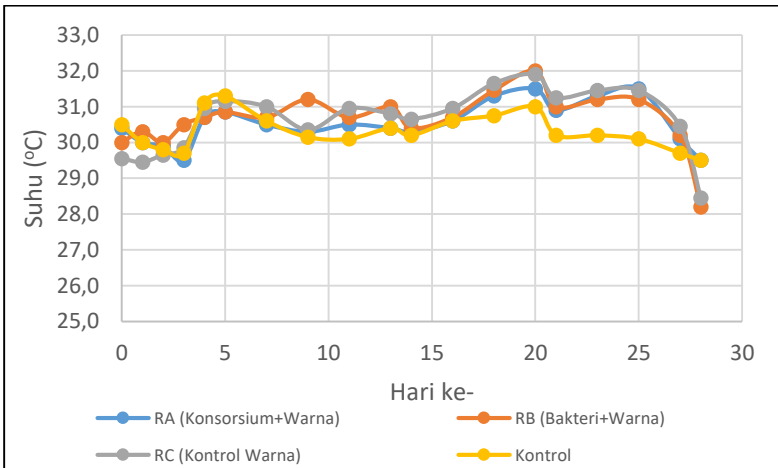
Pada Gambar 4.31, 4.32, 4.33 menunjukkan grafik suhu pada RA, RB, RC dengan variabel yang digunakan adalah *B. subtilis*. Rata-rata suhu secara keseluruhan adalah 30,5°C. Tingginya suhu disebabkan oleh faktor cuaca yang terjadi selama penelitian yaitu musim panas. Hal ini menyebabkan *E. crassipes* tidak tumbuh secara optimal. Sedangkan Gambar 4.34, 4.35, 4.36 menunjukkan grafik suhu pada RA, RB, RC dengan variabel *P. aeruginosa*.



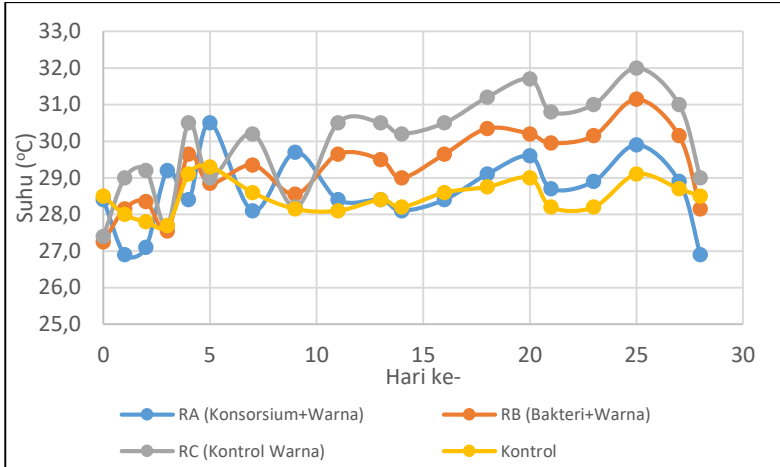
**Gambar 4. 31 Suhu pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel Bakteri *B. subtilis***



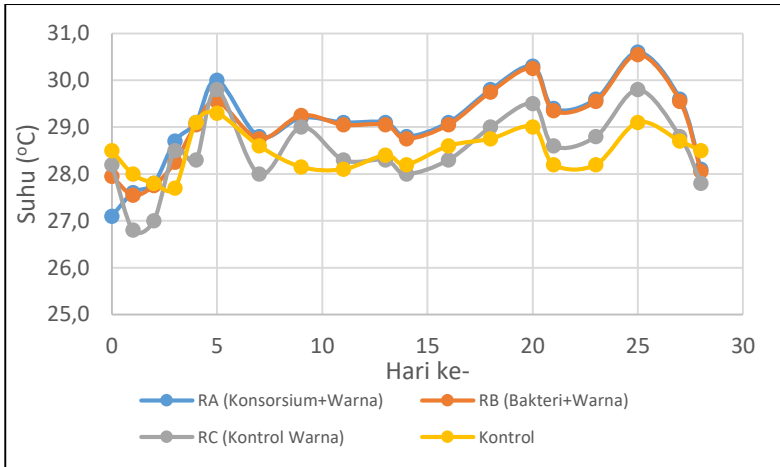
**Gambar 4. 32 Suhu pada Reaktor Metil Biru dengan Variabel Bakteri *B. subtilis***



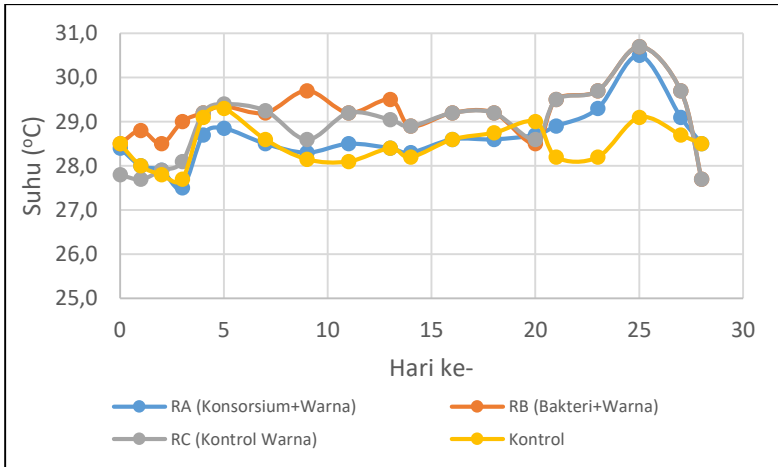
**Gambar 4. 33 Suhu pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel Bakteri *B. subtilis***



**Gambar 4.34 Suhu pada Reaktor Rhodamin B dengan Variabel Bakteri *P. aeruginosa***



**Gambar 4.35 Suhu pada Reaktor Metilen Biru dengan Variabel Bakteri *P. aeruginosa***



**Gambar 4. 36 Suhu pada Reaktor Metil Violet dengan Variabel Bakteri *P. aeruginosa***

#### 4.9. Analisis Morfologi Tumbuhan

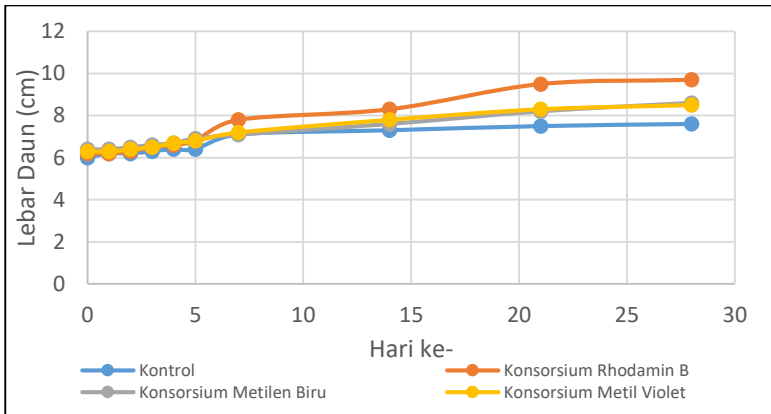
Analisis morfologi tumbuhan dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kondisi tumbuhan dengan perlakuan tertentu (RA) dan tanpa perlakuan (kontrol). Perlakuan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan media larutan warna sebagai media tumbuh *E. crassipes* dan menambahkan bakteri secara augmentasi. Bakteri yang digunakan adalah *B. subtilis* dan *B. subtilis*. Pada morfologi *E. crassipes*, yang diamati adalah lebar daun dan jumlah daun antara kontrol dan warna.

Gambar 4.37 menunjukkan lebar daun *E. crassipes* pada RA dan kontrol dengan variabel *B. subtilis*. Pada grafik dapat dilihat *E. crassipes* dengan perlakuan memiliki perbedaan lebar akhir yang sangat signifikan terhadap lebar awalnya dibanding *E. crassipes* pada reaktor kontrol. Gambar 4.38 juga menunjukkan lebar daun *E. crassipes* pada RA dan kontrol dengan variabel *P. aeruginosa*. Sedangkan Gambar 4.39 dan 4.40 menunjukkan jumlah daun *E. crassipes* pada RA dan kontrol dengan masing-masing variabel adalah *B. subtilis* dan *P. aeruginosa*.

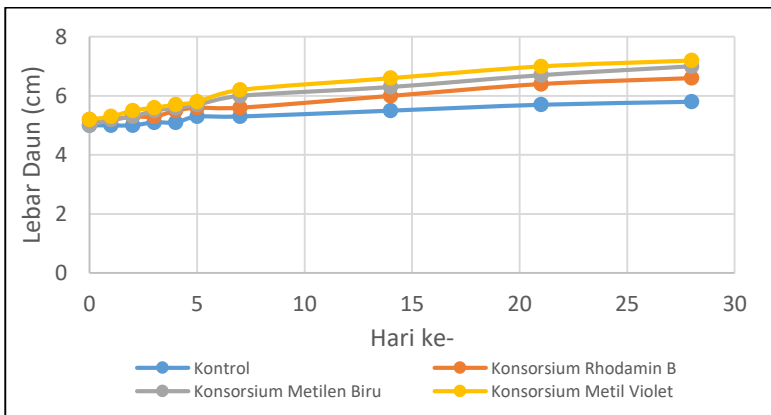
Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa RA, yaitu reaktor dengan menggunakan media larutan warna sebagai media tumbuh *E. crassipes* dan bioaugmentasi bakteri memiliki jumlah



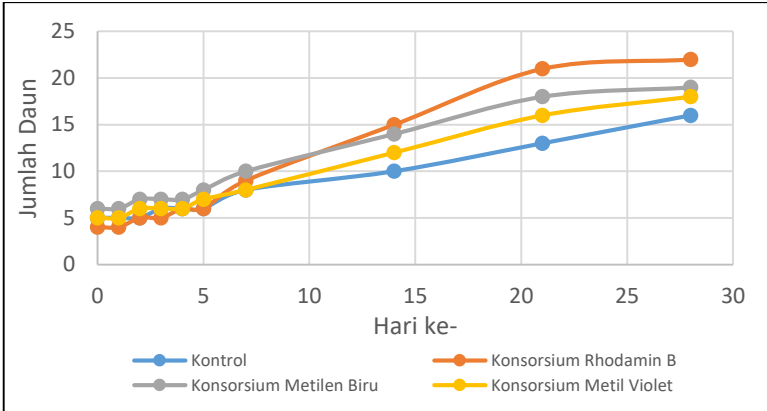
daun yang lebih banyak serta *growth rate* yang lebih tinggi dibandingkan *E. crassipes* pada reaktor kontrol tanpa perlakuan. Hal ini dapat disebabkan karena *B. subtilis* salah satu bakteri yang menghasilkan IAA. IAA termasuk hormon auksin pada tumbuhan yang memengaruhi banyak aspek fisiologis penting seperti pembelahan dan pembesaran sel, diferensiasi jaringan, serta tanggapan terhadap cahaya dan gravitasi (Hussein *et al.*,2016).



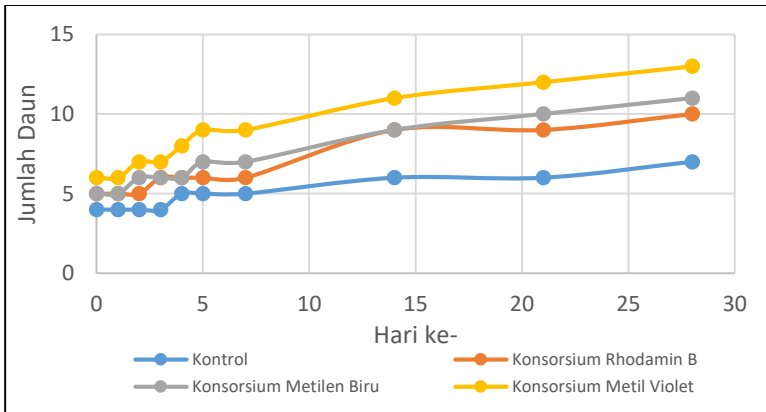
**Gambar 4. 37 Lebar Daun *E. crassipes* pada RA dengan Variabel *B. subtilis***



**Gambar 4. 38 Lebar Daun *E. crassipes* pada RA dengan Variabel *P. aeruginosa***



**Gambar 4. 39 Jumlah Daun *E. crassipes* pada RA dengan Variabel *B. subtilis***

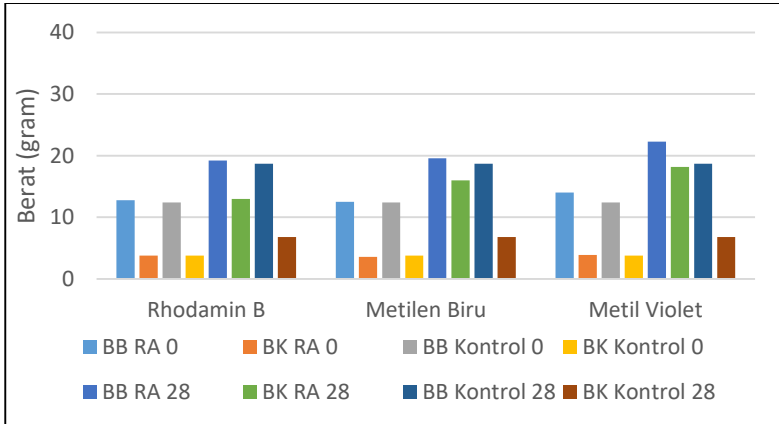


**Gambar 4. 40 Jumlah Daun *E. crassipes* pada RA dengan Variabel *P. aeruginosa***

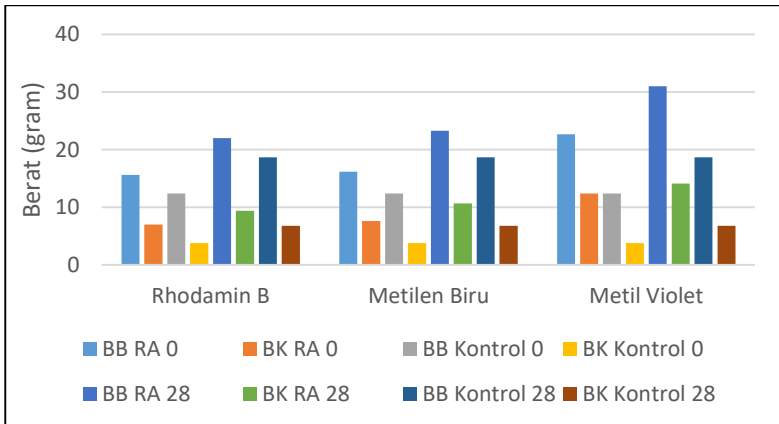
#### 4.10. Analisis Berat Basah (BB) dan Berat Kering (BK)

Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada hari pertama dan akhir pengamatan. *E. crassipes* diambil dari masing-masing reaktor konsorsium (RA) yaitu 1 tumbuhan dan reaktor kontrol tanpa perlakuan. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui biomassa yang terkandung dalam

tumbuhan. Hasil analisis berat basah dan berat kering dapat dilihat pada Gambar 4.41 dan Gambar 4.42.



**Gambar 4. 41 Berat Basah dan Berat Kering *E. crassipes* dengan Variabel *B. subtilis***



**Gambar 4. 42 Berat Basah dan Berat Kering *E. crassipes* dengan Variabel *P. aeruginosa***

BB 0 dan BK 0 adalah berat basah dan berat kering pada hari ke-0, sedangkan BB 28 dan BK 28 adalah berat basah dan berat kering pada hari ke-28. Berdasarkan Gambar 4.41 dan

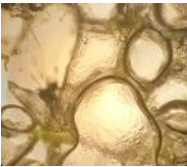






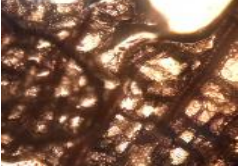
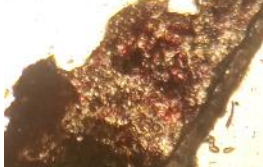
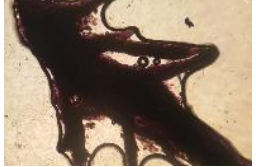
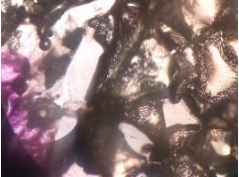
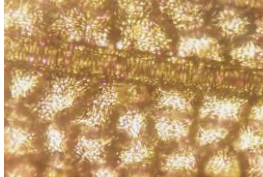
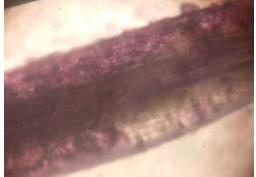
Gambar 4.42 terlihat bahwa terjadi peningkatan berat kering seiring bertambahnya waktu pemaparan. Berat kering pada masing-masing RA memiliki nilai yang lebih besar dari pada reaktor kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan *E. crassipes* menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah pewarnaan. Kenaikan biomassa menunjukkan adanya fitoproses berupa fitodegradasi kontaminan sebagai lanjutan dari proses penyerapan dan proses metabolik yang dilakukan oleh tumbuhan (Pivetz, 2001).

#### **4.11. Plant Cell Analysis**

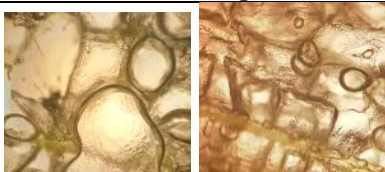





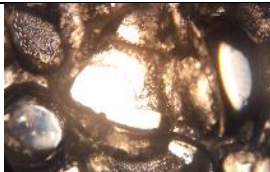


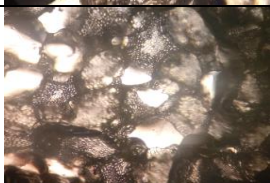
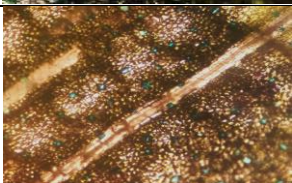

Uji *plant cells analysis* ini dilakukan sebelum dan sesudah tahap dekolonisasi dimana uji ini untuk membandingkan kondisi sel tumbuhan pada media tanpa larutan pewarna, sel tumbuhan pada media pewarna dengan *E. crassipes* setelah 30 hari (Herrena, 2017) dan sel tumbuhan pada media dengan larutan pewarna dengan konsorsium *E. crassipes* dan *B. subtilis* setelah 30 hari. Pengamatan akan menggunakan mikroskop, dimana masing-masing sel dari daun, batang hingga akar diamati secara terpisah. Tabel 4.2., 4.3., dan 4.4, menunjukkan hasil dari PCA tanaman eceng gondok pada media tanpa larutan warna; PCA tanaman eceng gondok pada media larutan warna selama 28 hari; PCA tanaman eceng gondok pada media larutan warna selama 28 hari dengan bioaugmentasi *B. subtilis*; dan PCA eceng gondok pada media larutan warna dengan bioaugmentasi *P. aeruginosa*.

Pengaruh dari penambahan bakteri terhadap tanaman adalah, akumulasi pewarna pada konsorsium tidak sebanyak yang terdapat pada tanpa konsorsium. Hal ini disebabkan aktivitas bakteri dapat mengurangi beban polutan yang di *uptake* oleh tumbuhan (Faisal dan Hasnain, 2005).

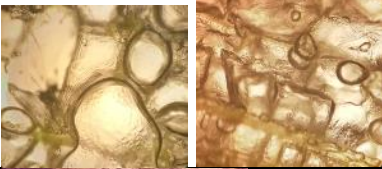


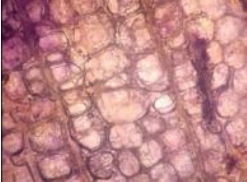





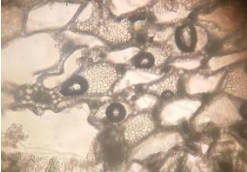

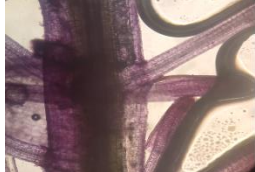
**Tabel 4. 2 Hasil PCA *E. crassipes* pada Pewarna Rhodamin B**

No	Nama	Batang		Daun	Akar
1	Tanpa Larutan Pewarna				
2	Larutan Pewarna+ Tumbuhan (Herrena, 2017)				
3	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>B. subtilis</i>				
4	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>P. aeruginosa</i>				

Tabel 4. 3 Hasil PCA *E. crassipes* pada Pewarna Metilen Biru

No	Nama	Batang	Daun	Akar
1	Tanpa Larutan Pewarna			
2	Larutan Pewarna+ Tumbuhan (Herrena, 2017)			
3	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>B. subtilis</i>			
4	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>P. aeruginosa</i>			

Tabel 4. 4 Hasil PCA *E. crassipes* pada Pewarna Metil Violet

No	Nama	Batang	Daun	Akar
1	Tanpa Larutan Pewarna			
2	Larutan Pewarna+ Tumbuhan (Herrena, 2017)			
3	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>B. subtilis</i>			
4	Larutan Pewarna + Tumbuhan + Bakteri <i>P. aeruginosa</i>			

#### 4.12. Analisis Statistik

Dalam penelitian ini, hasil analisa parameter utama berupa 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* Minitab. Uji anova bertujuan untuk mengetahui signifikansi dari masing-masing variabel. Hasil uji statistik Anova ini menunjukkan variabel manakah yang paling berpengaruh terhadap efisiensi warna pada larutan warna rhodamin B, metilen biru dan metil violet.

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 warna, sebaliknya jika nilai P-value >0,05 maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal warna pada larutan warna rhodamin B, metilen biru dan metil violet. Pada analisis statistik ini, variabel yang digunakan adalah Removal Warna dan Agen Degradasi. Agen Degradasi terdiri dari dua, yaitu "B+T" yang berarti perlakuan dengan bakteri dan tumbuhan; kemudian "B" yang berarti perlakuan hanya dengan bakteri saja. Nilai Removal Warna yang dimasukkan adalah nilai pada hari efektif.

Berdasarkan uji statistik antara Pewarna Rhodamin B dengan variabel bakteri *B. subtilis* pada Gambar 4.43 didapatkan P-value memiliki nilai  $P > 0.05$  berarti terdapat **pengaruh yang tidak signifikan** dari *B. subtilis* terhadap removal warna rhodamin B. Gambar 4.44 menunjukkan "B+T" berada pada grup yang sama dengan "B" karena tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sedangkan Gambar 4.45 menunjukkan uji statistik pewarna rhodamin B dengan variabel *P. aeruginosa* memiliki nilai  $P < 0.05$  oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa *P. aeruginosa* memiliki **pengaruh yang signifikan** terhadap penyisihan warna rhodamin B.



**One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI**

Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	5,36	5,36	0,87	0,449
Error	2	12,31	6,16		
Total	3	17,67			

S = 2,481    R-Sq = 30,32%    R-Sq(adj) = 0,00%

**Gambar 4. 43 Hasil Uji ANOVA Rhodamin B dengan Variabel *B. subtilis***

**One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI**

Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	158,13	158,13	76,76	0,013
Error	2	4,12	2,06		
Total	3	162,25			

S = 1,435    R-Sq = 97,46%    R-Sq(adj) = 96,19%

**Gambar 4. 44 Hasil Uji ANOVA Rhodamin B dengan Variabel *P. aeruginosa***

Uji statistik pada pewarna metilen biru dengan variabel *B. subtilis* dapat dilihat pada Gambar 4.45. P-value menunjukkan nilai di bawah 0.05, sehingga *B. subtilis* memiliki **pengaruh yang signifikan** terhadap removal warna metilen biru.

**One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI**

Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	1089,00	1089,00	217,80	0,005
Error	2	10,00	5,00		
Total	3	1099,00			

S = 2,236    R-Sq = 99,09%    R-Sq(adj) = 98,64%

**Gambar 4. 45 Hasil Uji ANOVA Metilen Biru dengan Variabel *B. subtilis***

Sedangkan hasil uji statistik antara pewarna metilen biru dengan variabel *P. aeruginosa* dapat dilihat pada Gambar 4.46. P-value menunjukkan nilai lebih kecil dari 0.05 sehingga *P. aeruginosa* **memiliki pengaruh yang signifikan** terhadap penyisihan warna metilen biru

One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI					
Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	256,00	256,00	32,00	0,030
Error	2	16,00	8,00		
Total	3	272,00			

S = 2,828    R-Sq = 94,12%    R-Sq(adj) = 91,18%

**Gambar 4. 46 Hasil Uji ANOVA Metilen Biru dengan Variabel *P. aeruginosa***

Gambar 4.47 menunjukkan hasil uji statistik antara removal warna metil violet dengan agen degradasi variabel *B. subtilis*, sedangkan Gambar 4.49 menunjukkan hasil uji statistik antara removal warna metil violet dengan variabel *P. aeruginosa*. P-value yang menunjukkan nilai di bawah 0.05 berarti *B. subtilis* **memiliki pengaruh yang tidak signifikan** terhadap penyisihan warna metil violet, sedangkan *P. aeruginosa* **memiliki pengaruh yang signifikan** terhadap penyisihan warna metil violet. Pengaruh yang tidak signifikan juga terlihat dari hasil Tukey Method pada Gambar 4.48, yaitu agen degradasi "B+T" berada pada grup yang sama dengan "B".

One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI					
Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	812	812	2,53	0,253
Error	2	643	321		
Total	3	1455			

S = 17,92    R-Sq = 55,83%    R-Sq(adj) = 33,75%

**Gambar 4. 47 Hasil Uji ANOVA Metil Violet dengan Variabel *B. subtilis***

Grouping Information Using Tukey Method				
AGEN				
DEGRADASI	N	Mean	Grouping	
B+I	2	72,00	A	
B	2	43,50	A	

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 4. 48 Tukey Method Metil Violet dengan Variabel *B. subtilis***

One-way ANOVA: REMOVAL WARNA versus AGEN DEGRADASI					
Source	DF	SS	MS	F	P
AGEN DEGRADASI	1	1156,0	1156,0	62,49	0,016
Error	2	37,0	18,5		
Total	3	1193,0			

S = 4,301    R-Sq = 96,90%    R-Sq(adj) = 95,35%

**Gambar 4. 49 Hasil Uji ANOVA Metil Violet dengan Variabel *P. aeruginosa***

Berdasarkan hasil analisis statistik, penambahan *B. subtilis* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan metilen biru, namun tidak signifikan terhadap penyisihan warna rhodamin B dan metil violet. Sedangkan penambahan *P. aeruginosa* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB 5 KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dihasilkan kesimpulan sementara sebagai berikut :

1. Potensi bakteri terhadap pewarna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet :
  - *Bacillus subtilis* memiliki potensi penyisihan warna rhodamin B sebesar 0,41%, warna metilen biru sebesar 10%, dan metil violet sebesar 14% dalam *treatment* selama 3 hari.
  - *Pseudomonas aeruginosa* memiliki potensi penyisihan warna rhodamin B sebesar 0,35%, warna metilen biru sebesar 34%, dan metil violet sebesar 19% dalam *treatment* selama 3 hari.
2. Pengaruh dari penambahan bakteri *B. subtilis* dan *P. aeruginosa* terhadap jaringan tumbuhan *E. crassipes* di dalam reaktor berisi zat warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet adalah akumulasi pewarna pada jaringan tumbuhan lebih sedikit dari pada tumbuhan tanpa bioaugmentasi bakteri dikarenakan aktivitas bakteri yang dapat mengurangi beban polutan yang di *uptake* oleh tumbuhan.
3. Nilai efisiensi penyisihan warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet oleh interaksi tumbuhan air *E. crassipes* dengan bakteri *Bacillus subtilis* dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* adalah sebagai berikut :
  - Pada warna rhodamin B, interaksi antara *B. subtilis* dan *E. crassipes* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada hari ke-3 sebesar 4,7%, sedangkan interaksi antara bakteri *P. aeruginosa* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada hari ke-2 sebesar 16%.
  - Pada warna metilen biru, interaksi antara *B. subtilis* dan *E. crassipes* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada hari ke-7 sebesar 64%, sedangkan interaksi antara bakteri *P. aeruginosa* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada hari ke-2 sebesar 74%.
  - Pada warna metil violet, interaksi antara *B. subtilis* dan *E. crassipes* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada

hari ke-5 dengan nilai 84%, sedangkan interaksi antara bakteri *P. aeruginosa* memiliki nilai efisiensi paling efektif pada hari ke-2 sebesar 71% .

Secara keseluruhan, augmentasi *B. subtilis* dengan *E. crassipes* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan warna metilen biru, namun memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap penyisihan warna rhodamin B dan metil violet. Sedangkan augmentasi *P. aeruginosa* dengan *E. crassipes* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rhodamin B, metilen biru, dan metil violet.

## **5.2. Saran**

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian dengan reaktor sistem *continuous*.
2. Penelitian menggunakan limbah asli yang berisi berbagai campuran zat warna dengan penambahan parameter COD dan BOD.

## BAB 6 DAFTAR PUSTAKA

- Abat, Benek. 2006. "Growth of Agriculturally Important Pseudomonas Spp and Azotobacter Chroococcum on Beer Waste and Observation of Their Survival in Peat". Turki: Middle East Technical University
- Afzal, M., Khan, Q.M., dan Sessitsch, A. 2014. "Endophytic bacteria : Prospects and Applications for the Phytoremediation of Organic Pollutants". **Chemosphere**, 117:232-242.
- Ansari, J. 2018. **B. subtilis "Soil-based" Probiotic Strains : DE 111,HU58**, <URL: <http://theprobioticslab.com/bacillus/bacillus-subtilis>>
- Astirin, O.D., dan Winarno, K. 2000. "Peran Pseudomonas dan Khamir dalam Perbaikan Kualitas dan Dekolorisasi Limbah Cair Industri Batik Tradisional". **BioSMART** 2, 1:13-19.
- Ashtana, M., Kumar, A., Vikrant, P., dan Gupta, P. 2014. "Tannery effluents de-colorization efficiency of bacterial isolates from River Yamuna and industrial effluents". **International Journal of Current Microbiology and Applied Science** 3, 5:869-880.
- Aziziah, R..N. 2008. "Deodorisasi Limbah Lateks Pekat dan Dekolorisasi Zat Pewarna Tekstil Secara Enzimatis dengan Formula *Omphalina* sp". [Skripsi]. Bogor : Program Studi Biokimia FMIPA, Institut Pertanian Bogor.
- Bonetto, L.R., Ferrarini, F., de Marco, C., Crespo, J.S., Guegan, R., dan Giovanela, M. 2015. "Removal of methyl violet 2B dye from aqueous solution using a magnetic composite as an adsorbent". **Journal of Water Process Engineering** 6 :11-20.
- Brono, Haryo. 2010. "Mewarnai Batik Dengan Indigofera". Jakarta: Universitas Indonesia.
- CDC Organization. 1979. **This illustration depicts a photomicrographic view of Pseudomonas aeruginosa**, <URL: <https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=2118>>
- Chen, K. Wu, J. Liou, D, dan Hwang, S.J. 2003. "Decolorization of The Textile Azo Dyes by Newly Isolated Bacterial Strains". **Journal of Biotechnology** 101:57-68.

- Cheng, Guojun, Xiaohua Li. 2009. "Bioreduction of Chromium (VI) By *Bacillus* Sp. Isolated from Soils of Iron Mineral Area". **Journal of Soil Biology** **45**, 5: 483 – 487
- Chussetijowati J, Tjahayam P.I., dan Sukmabuana, P. 2010. "Fitoremediasi Radionuklida <sup>134</sup>Cs Dalam Tanah Menggunakan Tanaman Bayam (*Amaranthus sp.*). [Prosiding]. Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. ITS. Surabaya. Hal. 282-289
- Cuiping, B., Xianfeng, X., Wenqi, G., Dexin, F., Mo, X., Zhongxue, G., dan Nian, X. 2011. "Removal of rhodamine B by ozone-based advanced oxidation process". **Desalination** **278**, 1-3:84-90.
- Daneshvar, N., Salari, D., Khataee, A.R. 2004. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO<sub>2</sub>". **Journal of Photochemistry and Photobiology**, **164**:317-322.
- Davies, L.C., Carias, C.C., Novais, J.M., dan Martin-Dias, S. 2005. "Phytoremediation of textile effluents containing azo dye by using *Phragmites australis* in a vertical flow intermittent feeding constructed wetland". **Ecological Engineering** **25**, 5:294-605.
- Dhir, B. 2009. "Use of aquatic plants in removing heavy metals from wastewater". **Int. J. Environmental Engineering** **2**, 1-3:185-201.
- Dhote, S., dan Dixit, S. 2009. "Water quality improvement through macrophytes—a review". **Environmental Monitoring and Assessment** **152**, 1-4:149-153.
- El Gendy, a., Biswas, N., dan Bewtra, J. 2004. "Growth of water hyacinth in municipal landfill leachate with different pH". **Enviro Tech** **25**, 7:833-840.
- Faisal, M. dan Hasnain, S. 2005. "Chromate Resistant *Bacillus cereus* Augments Sunflower Growth by Reducing Toxicity of CR (VI)". **Journal of Plant Biology** **48**, 2:187-194.
- Faqih, N. 2014. "Analisis Kehilangan Air Waduk Akibat Gulma Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)". **Jurnal PPKM** **3**, 149-155.
- Fatchullah, D. 2017. "Pengaruh Kerapatan Tanaman terhadap Pertumbuhan Hasil Benih Kentang (*Solanum tuberosum* L.)



- Generasi Satu (G1) Varietas Granola". **Jurnal Agrosains** 5, 1.
- Fatin, D.M. 2015. "Modifikasi Adsorben Berbasis Kayu Randu dengan Metode Pemanasan dan Aplikasinya sebagai Penjerap Zat Warna *Methyl Violet* pada Limbah Industri Batik". [Skripsi]. Semarang : Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Ganesh, K.C., Mongolla, P., Basha, A., Joseph, J., Sarma, V.U.M., dan Kamal, A. 2011. "Decolorization and Biotransformation of Triphenylmethane Dye, Methyl Violet, by *Aspergillus* sp. Isolated from Ladakh, India". **Journal Microbiology and Biotechnology** 21, 3:267-273.
- Gaudy A. F. dan Gaudy E. T. 1980. "Microbiology for Enviromental Scientists and Engineers". McGraw-Hill, USA
- Gerhardt, K.E., Huang, X., Glick, B.R., dan Greenberg, B.M. 2009. "Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants : Potential and challenges". **Plant Science** 176, 1:20-30.
- Ghodake, G.S., Talke, A.A., Judhav, J.P., dan Govindwar, S.P. 2009. "Potential of *Brassica juncea* in Order to Treat Textile-Effluent-Contaminated Sites". **International Journal of Phytoremediation**, 11:297-312.
- Glevinno, A. 2015. "Dekolorisasi Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Imobilisasi Enzim Kasar dan Biomassa Bakteri". [Skripsi]. Yogyakarta : Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Govan, J.R.W, Janet, A.M.F., McMillan, C. 1979. "The Instability of Mucoïd *Pseudomonas aeruginosa* : Fluctuation Test and Improved Stability of The Mucoïd Form in Shaken Culture". **Journal of General Microbiology** 110, 229-232.
- Govindwar, S.P., Kagalkar, A.N., 2010. "Phytoremediation Technologies for the Removal of Textile Dyes: An Overview and Future Prospectus". **Nova Science Publishers**, New York, USA.
- Gregory, Peter. 2006. "Plant Roots, Growth, Activity and Interaction with Soils". Australia : Black Well.
- Gunawan, P. dan Sahwalita. 2007. "Pengolahan Enceng Gondok sebagai Bahan Baku Kertas Seni". [Prosiding] Ekspose Hasil-hasil Penelitian. Padang.

- Hamdaoui, O., dan Chiba, M. 2007. "Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran". **Acta Chim. Slo.** 54:407-418.
- Hamdiyati, Y. 2011. "Pertumbuhan dan Pengendalian Mikroorganisme". Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- Handayani, P.N. 2015. "Isolasi, Seleksi, dan Uji Aktivitas Antimikroba Kapang Endofit dari Daun Tanaman Jamblang (*Syzygium cumini* L.) terhadap *Escheria coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, dan *Aspergillus niger*". [Skripsi]. Jakarta : Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Hartig, E. dan Jahn, D. 2012. **Advances in Bacterial Respiratory Physiology**. Elsevier
- Herrena, A. 2017. "Pengolahan oleh tumbuhan untuk Dekonsentrasi Warna Rhodamin B, Metilen Biru dan Metil Violet dengan Tumbuhan Air *Eichhornia crassipes*". [Skripsi]. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Herrena, A., dan Titah, H.S. 2017. "Pengolahan oleh tumbuhan untuk Dekonsentrasi Warna Rhodamin B, Metilen Biru dan Metil Violet dengan Tumbuhan Air *Eichhornia crassipes*". **Jurnal Teknik ITS** 6, 2:479-482.
- Husniya, P. 2012. "Adsorpsi Pewarna Methyl Violet Menggunakan Pasir Vulkanik dari Gunung Merapi". Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hussein, K.A., Kadhum, N.H., dan Yasser, Y.K. 2016. "The role of bacteria *Bacillus subtilis* in improving rooting response of Mung bean (*Vigna radiata*) cuttings". Iraq : University of Karbala.
- Imron, M.F. 2017. "Optimasi Proses Biodegradasi Solar oleh Isolat Bakteri dengan Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) Desain Box Behnken". [Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Jain, R., Mathur, M., Sikarwar, S., dan Mittal, A. 2007. "Removal of the hazardous dye Rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments". **Journal of Environmental Management**, 85:956-964.

- Jauhari, L.T. 2010."Seleksi dan Identifikasi Kapang Endofit Penghasil Antimikroba Penghambat Pertumbuhan Mikroba dengan Patogen". [Skripsi]. Jakarta : Univesitas Islam Syarif Hidayatullah.
- Kabra, A.N., Khandare, R.V., dan Govindwar, S.P. 2013. "Development of a bioreactor for remediation of textile effluent and dye mixture : A plant-bacterial synergistic strategy". **Water Research**, 47:1035-1048.
- Kabra, A.N., Khandare, R.V., Waghmode, T.R., dan Govindwar, S.P. 2012. "Phytoremediation of textile effluent and mixture of structurally different dyes by *Glandularia pulchella* (Sweet) Tronc". **Chemosphere** 87, 3:265-271.
- Kagalkar, A.N., Jagtap, U.B., Jadhav, J.P., Bapat, V.A., dan Govindwar, S.P. 2009. "Biotechnological strategies for phytoremediation of the sulphonated azo dye Direct Red 5B using *Blumea malcolmii* Hook". **Bioresource Technology** 100, 4104-4110.
- 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.
- Kdasi, A., Idris, A., Saed, K., Guan, C.T. 2004."Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Process – A Review". **Global Nest the Int.** 6, 3:222-230.
- Khan, S., Afzal, M., Ibal, S., dan Khan, Q.M. 2012. "Plant-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils". **Chemosphere**, 90:1317-1332.
- Khan, T.A., Nazir, M., dan Khan, E.A. 2013. "Adsorptive removal of Rhodamine B from textile water using water chestnut (*Trapa natans* L.) peel : adsorption dynamics and kinetic studies". **Toxicology and Environmental Chemistry** 95, 6:919-931.
- Khandare, R.V. dan Govindwar, S.P. 2015. "Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects". **Biotechnology Advances**.
- Khlifi, R., Belbahri, L., Woodward, S., Ellouz, M., Dhoub, A., Sayadi, S., dan Mechichi, T. 2010. "Decolourization and detoxification of textile industry wastewater by the laccase-

- mediator system". **Journal of Hazardous Materials** 175, 1-3:802–808.
- Kusrinah, Nurhayati, A., dan Hayati, N. 2016. "Pelatihan dan Pendampingan Pemanfaatan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) Menjadi Pupuk Kompos Cair untuk Mengurangi Pencemaran Air dan Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Desa Karangimpul Kelurahan Kaligawe Kecamatan Gayamsari Kotamadya Semarang". **DIMAS** 16, 1:27-48.
- Leelakriangsak, M. dan Borisut, S. 2012. "Characterization of the decolorizing activity of azo dyes by *Bacillus subtilis* azoreductase AzoR1". **Songklanakar Journal of Science and Technology** 34, 5:509-516.
- Lim, S.L., Chu, W.L., dan Phang, S.M. 2010. "Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater". **Bioresource Technology** 101, 19:7314-7322.
- Lukito, A.B.. 2013. "Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan Dekolorisasi Senyawa Pewarna *Strawberry Red* dan *Orange Yellow* dalam Kondisi Cura". **Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya** 2, 1:1-16.
- Mabrouk, M.E.M., dan Yusef, H.H. 2008. "Decolorization of Fast Red by *Bacillus subtilis* HM". **Journal of Applied Sciences Research** 4, 3:262-269.
- Mahmudah, N. 2015. "Dekolorisasi Limbah Pewarna Tekstil Buatan dan Alami dengan *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus subtilis*". [Skripsi]. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Malini, F.A., dan Putri, E.M.M. 2014. "Kinetika Oksidasi Fotokatalitik Metilen Biru dengan Katalis Semikonduktor  $TiO_2$ ". **Jurnal Sains dan Seni POMITS** 2, 1:1-7.
- Manghabati, H. dan Pazuki, G. 2014. "A study on the decolorization of methylene blue by *Spirodela polyrrhiza* : experimentation and modeling". **Royal Society of Chemistry**, 4:30137-30144.
- Mangkoedihardjo, S dan Samudro. 2010. "Fitoteknologi Terapan". Graha Ilmu: Yogyakarta
- Manurung, R., Hasibuan, R., dan Irvan. 2004. "Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob -Aerob." **e-USU Repository**.

- Mantzavinos, D. dan Psillakis, E. 2004. "Review Enhancement of Biodegradability of Industrial Wastewaters by Chemical Oxidation Pre-Treatment". **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 69:431-454.
- Naryaningsih, A. 2005 "Keefektifan *Bacillus cereus* (*Frankland and Frankland*) ATCC 11778 (Bakteri Gram Positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (Bakteri Gram Negatif) sebagai Bioakumulator Kadmium. Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan.
- Ngajow, M., Abidjulu, J., dan Kamu, V.S. 2013. "Pengaruh Antibakteri Ekstrak Kulit Batang Matoa (*Pometia pinnata*) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* secara *In vitro*". **Jurnal MIPA UNSRAT Online 2**, 2:128-132.
- Nilratnisakorn, S., Thiravetyan, dan P., Nakbanpote, W. 2007. "Synthetic reactive dye wastewater treatment by narrowleaved cattails (*Typha angustifolia* Linn.): effects of dye, salinity and metals". **Science of the Total Environment** 384, 67-76.
- Nilsson, R., Nordlinder, R., Wass, U. 1993. "Asthma, rhinitis, and dermatitis in workers exposed to reactive dyes". **Br. J. Ind. Med.** 50, 65-70.
- Pandey, A., Singh, P., dan Iyengar, L. 2006. "Bacterial decolorization and degradation of Azo dyes". **International Biodeterioration & Biodegradation**, 59:73-84.
- Parwanayoni, N.M.S. 2008. "Pergantian Populasi Bakteri Heterotrof, Algae, dan Protozoa di Lagoon BTDC Unit Penanganan Limbah Nusa Dua Bali". **Jurnal Bumi Lestari** 8, 2:180-185.
- Pivetz, B.E. 2001. "Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites". **USE EPA**
- Prescott, H. 2002. **Fifth Edition : Laboratory Exercise in Microbiology**. McGraw Hill.
- Purnamawati, E.Y., Suyasa, W.W.B., dan Mahardika, I.G. 2014. "Penurunan Kadar Rhodamin B dalam Air Limbah dengan Biofiltrasi Sistem Tanaman". **Ecotrophic** 9, 2:40-51.
- Purwanti, I.F., Putri, T.P., dan Kurniawa, S.B. 2016. "Treatment of Chromium Contaminated Soil Using Bioremediation". **AIP Conference Proceedings**. American Institute of Physics.

- Puspasari, E. 2015. "Dekolorisasi Limbah Lateks dan Dekolorisasi Limbah Tekstil dengan Jamur Pelapuk Putih *Omphalina* sp Menggunakan Metode Batch dan Kontinyu". [Tesis] Institut Pertanian Bogor.
- Puspita, U.R., Siregar, A.S., dan Hidayati, N.V. 2011. "Kemampuan Tumbuhan Air sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) yang terdapat pada Limbah Cair Industri Batik". **Jurnal Berkala Perikanan Terubuk**. 39, No. 1. ISSN 0126-4265.
- Rahman M., Amin S. M., dan Alam A. M. 2012. "Removal of Methylene Blue from Waste Water Using Activated Carbon Prepared from Rice Husk". **Dhaka Univ. J. Sci** **60** 2:185-189.
- Raissa, D.G., dan Tangahu, B.V. 2017 " Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu Apus (*Pistia stratiotes*)". **Jurnal Teknik ITS** 6, 2:233-237.
- Rajee, O dan Patterson, J. 2011. "Decolorization of Azo Dye (Orange MR) by an Autochthonous Bacterium, *Micrococcus* sp. DBS 2". **Indian Journal of Microbiology** 51, 2:159-163.
- Rizqi, H.D. dan Purnomo, A.S. 2014. "Biodegradasi Pewarna Metilen Biru oleh *Daedalea dickinsii*". **Jurnal Seni dan Sains** 2, 1:1-6.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., dan Nigam, P. 2001. "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative". **Bioresource Technology** 77, 3:247-255.
- Rosyida, A dan Zulfiya, A. 2013. "Pewarnaan Bahan Tekstil dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Nangka dan Teknik Pewarnaannya untuk Mendapatkan Hasil yang Optimal". **Jurnal Rekayasa Proses** 7, 2:52-58.
- Saratale, R.G., Saratale, G.D., Chang, J.S., dan Govindwar, S.P. 2011. "Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review". **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers** 42, 1:138-157.
- Sanjaya, H., Hardeli, Syafitri, R. 2018. "Degradasi metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara Fotosonolisis". **EKSAKTA** 19, 1

- Sastrawidana, I.D.K., Lay, B.W., Fauzi, A.M., dan Santosa, D.A. 2008. "Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium Dari Lumpur Limbah Tekstil". **Ecotrophic** 3, 2:55-60.
- Sen, G., Ghosh, S., Jha, U., dan Pal, S. 2011. "Hydrolyzed polyacrylamide grafted carboxymethylstarch (Hyd. CMS-g-PAM): An efficient flocculant for the treatment of textile industry wastewater". **Chemical Engineering Journal** 171, 2:495-501.
- Shah, M.P. 2013. "Biodegradation of Azo Dyes by Three Isolated Bacterial Strains: An Environmental Bioremedial Approach". **Journal Microbial & Biochemical Technology**.
- Sharma, P., Singh, L., dan Dilbaghu, N. 2009. "Optimization of process variables for decolorization of Disperse Yellow 211 by *Bacillus subtilis* using Box-Behnken design". **Journal of Hazardous Materials** 164, 2-3:1024-1029.
- Singh R.L., Singh, P.K. dan Singh, R.P. 2015. "Enzymatic Decolorization and Degradation of Azo Dyes – A Review". **International Biodeterioration & Biodegradation** 104 : 21-31
- 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.
- Sunarto. 2008. **Teknologi Pencelupan an Pencapan Jilid 1 untuk SMK**. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Supradata. 2005. "Pengolahan limbah domestik menggunakan tanaman hias cyperus alternifolius dalam ssstem lahan basah aliran permukaan (SSF wetland)". [Tesis]. Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Syahdiman, Anggorowati, D., dan Huda, S. 2013. "Effect of Compost Hyacinth Eggplant on Growth and Yield of Land Alluvial". Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Pontianak.

- Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G., dan Zuberer, D.A. 2005. "Principles and Applications of Soil Microbiology". Technische Universitat Darmstadt.
- Tan, K.A., Morad, N., dan Ooi, J.Q. 2016. "Phytoremediation of Methylene Blue and Methyl Orange Using *Eichornia crassipes*". **International Journal of Environmental Science and Development** 7, 10:724-728.
- Tang, Y.W., Liu, D., Schwartzman, J., Sussman, M., dan Poxton, I. 2015. "Molecular Medical Microbiology". Elsevier
- Tangahu, B.V., dan Ningsih, D.A. 2016. "Uji Penurunan Kandunga COD, BOD pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan Intermittent". **Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan** 8, 2:121-130.
- Telke, A.A., Kalyani, D.C., Dawkarm V.V., dan Govindwar, S.P. 2009. "Influence of organic and inorganic compounds on oxidoreductive decolorization of sulfonated azo dye C.I. Reactive Orange 16". **Journal of Hazardous Material** 172, 298-309.
- Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G.D., dan Orhan, D. 1996. "Color removal from textile wastewater". **Water Sci. Technol.** 34 (1996) 9–16.
- Utari, S.A.S.S.L., Darmayasa, I.B.G., dan Suyasa, I.W.B. 2015. "Isolasi, Identifikasi dan Uji Potensi Bakteri yang Berperan pada Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Rhodamin B dalam Biosistem Tanaman". **Jurnal Simbiosis III**, 1:301-312.
- 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.
- Vijayalakshmi, S.R. dan Muthukumar, K. 2014. "Phytoremediation of textile effluent pretreated with ultrasound and bacteria". **Journal of Environmental Chemical Engineering** 2, 3:1813-1820.
- Wang, H., Su, J.Q., Zheng, X.W., Tian, Y., Xiong, X.J., dan Zheng, T.L. 2009. "Biological decolorization of the reactive dyes Reactive Black 5 by a novel isolated bacterial strain



- Enterobacter* sp. EC3". **Journal of Hazardous Materials** 171, 1-3:654-659.
- Weyens, N., Lelie, D., Taghavi, S., Vangronsveld, J., 2009. Phytoremediation: plant-endophyte partnerships take the challenge. *Current Opinion in Biotechnology* **20**, 248-254.
- Widjanarko, P.I., Widianoro, Soetaredjo, L.F.E., dan Ismadji, S. 2005. "Kinetika Adsorpsi Zat Warna Congo Red dan Rhodamine B dengan Menggunakan Serabut Kelapa dan Ampas Tebu". **The 4th National Conference : Design and Application of Technology**.
- Wirawan, W.A., Wirosodarmo, R., dan Susanawati, L.D. 2014. "Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem FT (*Deep Flow Technique*)". **Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan**.
- Wu, W., Jin, Y., Bai, F., dan Jin, S. 2015. **Molecular Medical Microbiology (Second Edition)**. Elsevier.
- Yuliani, Umar, M.R., Tambaru, E., dan Ambeng. 2014. "ANALISIS AKUMULASI TIMBAL (Pb) PADA ECENG GONDOK *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms DAN PERAIRAN DARI BEBERAPA
- Zee, V.C.. 2002. "Anaerobic azo dye reduction" [Thesis]. Wageningen University, Netherlands.
- Zee, F.P. dan Villaverde, S. 2005. "Combined anaerobic-aerobic Treatment of Azo Dyes-A Short Review of Bioreactor Studies". **Water Research** **39**, 8:1425-1440.
- Zille, A. 2005. "Laccase Reactions for Textile Applications". [Dissertation]. Italia : Universidade do Minho.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

### 1. Prosedur Analisis Konsentrasi Warna dengan Spektrofotometer

#### a. Mencari panjang gelombang maksimum

Prosedur mencari panjang gelombang max adalah sebagai berikut

1. Membuat larutan sebesar 1 ppm
2. Melakukan pembacaan pada spektrofotometer dalam *range* 500-700 nm
3. Dibuat dalam grafik, nilai absorbansi tepat sebelum nilai absorbansi turun (nilai absorbansi puncak) menunjukkan panjang gelombang maksimal

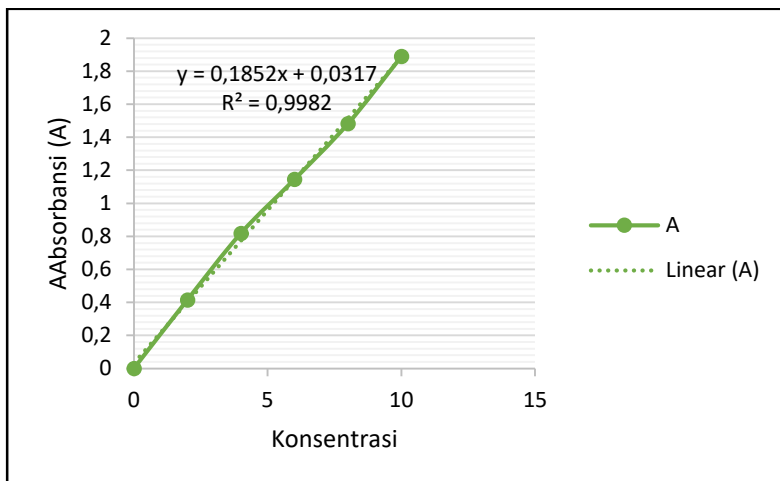
#### b. Membuat kurva kalibrasi

Prosedur pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan langkah berikut:

1. Membuat larutan untuk kalibrasi dengan 2; 4; 6; 8; dan 10 mg/L
2. Melakukan pembacaan pada spektrofotometri
3. Didapatkan nilai absorbansi pada masing-masing konsentrasi tersebut
4. Plot kurva kalibrasi pada grafik antara nilai absorbansi dan konsentrasi warna sebagai (mg/L), masing-masing warna rhodamin B, metilen biru, dan metil violet

**Tabel LA. 1** Data Kalibrasi Warna Rhodamin B

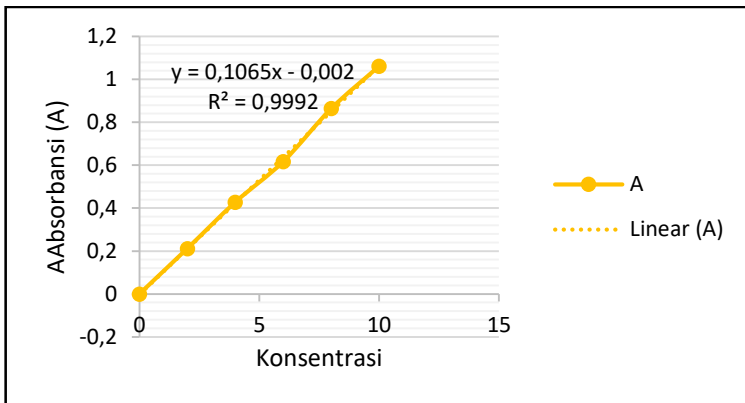
Konsentrasi (mg/L)	A
0	0
2	0,415
4	0,818
6	1,144
8	1,481
10	1,888



**Gambar LA. 1** Kurva Kalibrasi Rhodamin B

**Tabel LA. 2** Data Kalibrasi Metilen Biru

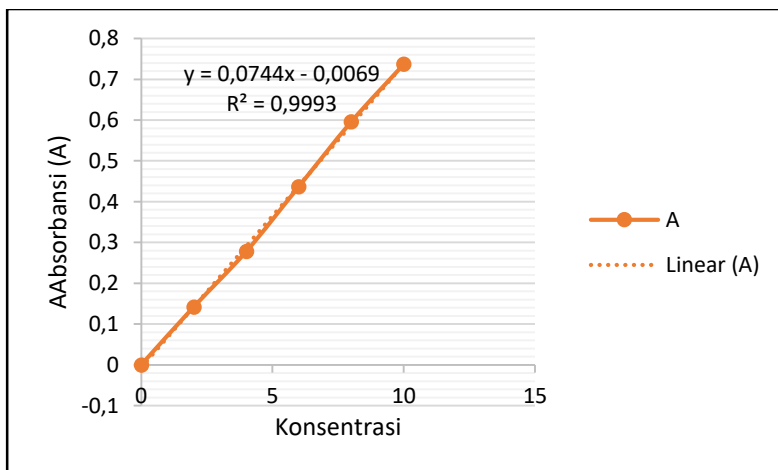
konsentrasi (mg/L)	A
0	0
2	0,212
4	0,428
6	0,617
8	0,864
10	1,062



**Gambar LA. 2** Kurva Kalibrasi Metilen Biru

**Tabel LA. 3** Data Kalibrasi Metil Violet

konsentrasi (mg/L)	A
0	0
2	0,142
4	0,278
6	0,437
8	0,596
10	0,737



**Gambar LA. 3** Kurva Kalibrasi Metil Violet

**LAMPIRAN B**  
**DATA HASIL ANALISIS**

**1. Uji Potensi Bakteri**

**Tabel LB. 1 Uji Potensi Bakteri *B. subtilis* pada Rhodamin B**

Konsentrasi (mg/L)					
RO	RO'	BS	BS'	PA	PA'
23,03	22,59	24,76	24,18	23,10	22,57
1,93%		2,34%		2,28%	

**Tabel LB. 2 Uji Potensi Bakteri *B. subtilis* pada Metilen Biru**

Konsentrasi (mg/L)					
PA	PA'	BS	BS'	O	O'
27,21	14,13	23,15	17,54	17,30	14,81
48%		24%		14%	

**Tabel LB. 3 Uji Potensi Bakteri *B. subtilis* pada Metil Violet**

Konsentrasi (mg/L)					
PA	PA'	BS	BS'	O	O'
27,21	14,13	23,15	17,54	17,30	14,81
48%		24%		14%	

## 2. Data Propagasi

Tabel LB. 4 Lebar Daun *E. crassipes*

Hari ke-	Lebar Daun (cm)
0	3,2
2	3,3
4	3,4
6	3,6
8	3,8
10	3,8
12	3,9
14	3,9
16	4,1
18	4,2
20	4,4
22	4,4
24	4,45
26	4,5
28	4,6
30	5,1



### 3. Analisis Konsentrasi Warna

Tabel LB. 5 Analisis Warna Rhodamin B variabel Bakteri *B. subtilis*

HARI	RA (konsorsium + warna)				RB (bakteri+warna)				RC (kontrol warna)			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)
0	1,522	20,12	1,623	21,48	1,53	20,23	1,575	20,83	1,596	21,12	1,546	20,44
1	1,525	20,16	1,499	19,81	1,64	21,71	1,652	21,87	1,712	22,68	1,671	22,13
2	1,476	19,50	1,521	20,10	1,611	21,32	1,665	22,05	1,675	22,18	1,645	21,78
3	1,46	19,28	1,443	19,05	1,45	19,15	1,612	21,33	1,675	22,18	1,541	20,37
4	1,488	19,66	1,506	19,90	1,696	22,47	1,672	22,14	1,755	23,26	1,692	22,41
5	1,516	20,04	1,57	20,77	1,692	22,41	1,768	23,44	1,809	23,99	1,755	23,26
7	1,509	19,94	1,56	20,63	1,776	23,55	1,829	24,26	1,855	24,61	1,777	23,56
14	1,571	20,78	1,634	21,63	2,015	26,77	2,087	27,74	2,102	27,95	2,098	27,89
21	1,579	20,89	1,672	22,14	2,323	30,93	2,38	31,70	2,48	33,05	2,429	32,36
28	1,554	20,55	1,691	22,40	2,59	34,53	2,64	35,21	2,729	36,41	2,696	35,97

**Tabel LB. 6** Analisis Warna Rhodamin B variabel Bakteri *P. aeruginosa*

HARI	RA (konsorsium + warna)				RB (bakteri+warna)				RC (kontrol warna)			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)	A	Konsentrasi (mg/L)
0	1,79	23,79	1,68	22,20	1,68	22,20	1,67	22,17	1,67	22,16	1,66	21,91
1	1,56	20,62	1,43	18,81	1,58	20,83	1,60	21,14	1,68	22,22	1,66	22,01
2	1,54	20,32	1,39	18,32	1,62	21,43	1,62	21,41	1,69	22,32	1,68	22,24
3	1,60	21,14	1,42	18,67	1,63	21,51	1,60	21,21	1,70	22,56	1,74	23,10
4	1,60	21,10	1,41	18,54	1,63	21,58	1,62	21,39	1,70	22,55	1,76	23,38
5	1,56	20,60	1,42	18,77	1,67	22,05	1,66	21,99	1,72	22,80	1,70	22,56
7	1,58	20,94	1,41	18,58	1,65	21,80	1,69	22,44	1,74	23,01	1,75	23,21
14	1,63	21,51	1,42	18,79	1,80	23,84	1,81	24,01	1,87	24,83	1,91	25,31
21	1,67	22,14	1,46	19,33	1,88	25,00	1,90	25,15	1,95	25,94	2,03	26,91
28	1,76	23,32	1,49	19,69	1,94	25,72	1,98	26,29	1,98	26,29	2,02	26,89

**Tabel LB. 7** Analisis Warna Metilen Biru Variabel Bakteri *B. subtilis*

HARI KE-	TUMBUHAN + BAKTERI + WARNA				BAKTERI + WARNA				KONTROL WARNA			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi
0	0,685	16,13	0,795	18,71	0,632	14,88	0,688	16,20	1,03	24,23	0,931	21,90
1	0,483	11,38	0,516	12,16	0,53	12,49	0,555	13,08	0,92	21,64	0,898	21,13
2	0,469	11,06	0,439	10,35	0,68	16,01	0,671	15,80	0,86	20,23	0,74	17,42
3	0,407	9,60	0,376	8,87	0,621	14,62	0,546	12,86	0,869	20,45	0,79	18,59
4	0,333	7,86	0,315	7,44	0,54	12,72	0,497	11,71	0,769	18,10	0,658	15,49
5	0,262	6,20	0,309	7,30	0,496	11,69	0,446	10,52	0,641	15,09	0,631	14,86
7	0,254	6,01	0,279	6,60	0,446	10,52	0,457	10,77	0,708	16,67	0,61	14,37
14	0,162	3,85	0,148	3,52	0,042	1,03	0,151	3,59	0,016	0,42	0,018	0,47
21	0,067	1,62	0,084	2,02	0,395	9,32	0,335	7,91	0,241	5,70	0,074	1,78
28	0,026	0,66	0,035	0,87	0,14	3,33	0,076	1,83	0,045	1,10	0,008	0,23

**Tabel LB. 8** Analisis Warna Metilen Biru Variabel Bakteri *P. aeruginosa*

HARI KE-	TUMBUHAN + BAKTERI + WARNA				BAKTERI + WARNA				KONTROL WARNA			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi
0	0,797	18,76	0,92	21,64	0,931	21,90	1,023	24,06	1,019	23,97	0,969	22,79
1	0,29	6,85	0,294	6,95	0,45	10,61	0,455	10,73	1,033	24,30	1,032	24,27
2	0,225	5,33	0,208	4,93	0,316	7,46	0,438	10,33	0,8	18,83	0,923	21,71
3	0,249	5,89	0,244	5,77	0,401	9,46	0,478	11,27	0,852	20,05	0,879	20,68
4	0,219	5,19	0,258	6,10	0,347	8,19	0,366	8,64	0,889	20,92	0,902	21,22
5	0,269	6,36	0,308	7,28	0,412	9,72	0,454	10,70	1,018	23,94	1,097	25,80
7	0,255	6,03	0,299	7,07	0,415	9,79	0,351	8,29	0,988	23,24	0,955	22,46
14	0,167	3,97	0,244	5,77	0,265	6,27	0,73	17,18	0,915	21,53	0,862	20,28
21	0,112	2,68	0,212	5,02	0,213	5,05	0,764	17,98	0,824	19,39	0,843	19,84
28	0,09	2,16	0,197	4,67	0,619	14,58	0,754	17,75	0,816	19,20	0,851	20,02

**Tabel LB. 9** Analisis Warna Metil Violet Variabel *B. subtilis*

HARI KE-	TUMBUHAN + BAKTERI + WARNA				BAKTERI + WARNA				KONTROL WARNA			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi
0	0,736	24,96	0,458	15,62	0,688	23,35	0,482	16,43	0,752	25,50	0,628	21,33
1	0,261	9,00	0,255	8,80	0,387	13,24	0,436	14,88	0,384	13,14	0,362	12,40
2	0,225	7,79	0,212	7,36	0,356	12,19	0,405	13,84	0,303	10,41	0,239	8,26
3	0,135	4,77	0,165	5,78	0,276	9,51	0,343	11,76	0,341	11,69	0,23	7,96
4	0,139	4,90	0,119	4,23	0,264	9,10	0,27	9,30	0,151	5,31	0,148	5,20
5	0,095	3,42	0,082	2,99	0,121	4,30	0,221	7,66	0,196	6,82	0,186	6,48
7	0,08	2,92	0,078	2,85	0,093	3,36	0,291	10,01	0,068	2,52	0,13	4,60
14	0,033	1,34	0,032	1,31	0,042	1,64	0,151	5,31	0,016	0,77	0,018	0,84
21	0,01	0,57	0,007	0,47	0,013	0,67	0,021	0,94	0,002	0,30	0,004	0,37
28	0,009	0,53	0,009	0,53	0,009	0,53	0,012	0,64	0,001	0,27	0,002	0,30

**Tabel LB. 10** Analisis Warna Metil Violet Variabel *P. aeruginosa*

HARI KE-	TUMBUHAN + BAKTERI + WARNA				BAKTERI + WARNA				KONTROL WARNA			
	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi	A	Konsentrasi
0	0,44	15,02	0,496	16,90	0,43	14,68	0,442	15,08	0,534	18,18	0,53	18,04
1	0,273	9,41	0,211	7,32	0,361	12,36	0,343	11,76	0,349	11,96	0,473	16,13
2	0,108	3,86	0,16	5,61	0,28	9,64	0,265	9,14	0,502	17,10	0,546	18,58
3	0,195	6,78	0,198	6,89	0,278	9,57	0,409	13,98	0,353	12,09	0,508	17,30
4	0,168	5,88	0,179	6,25	0,394	13,47	0,388	13,27	0,472	16,09	0,505	17,20
5	0,156	5,47	0,179	6,25	0,364	12,46	0,373	12,77	0,435	14,85	0,454	15,49
7	0,107	3,83	0,115	4,10	0,244	8,43	0,267	9,20	0,347	11,89	0,368	12,60
14	0,04	1,58	0,046	1,78	0,197	6,85	0,198	6,89	0,225	7,79	0,316	10,85
21	0,024	1,04	0,03	1,24	0,126	4,47	0,141	4,97	0,112	4,00	0,21	7,29
28	0,022	0,97	0,024	1,04	0,094	3,39	0,122	4,33	0,119	4,23	0,175	6,11

**Tabel LB. 11 Efisiensi Penyisihan Warna Rhodamin B *B. subtilis***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2	3,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3	4,2%	5,3%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%
4	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
14	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
21	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
28	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

**Tabel LB. 12 Efisiensi Penyisihan Warna Rhodamin B *P. aeruginosa***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2	3,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3	4,2%	5,3%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%
4	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
14	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
21	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
28	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

**Tabel LB. 13 Efisiensi Penyisihan Warna Metilen Biru *B. subtilis***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1	29,4%	35,0%	16,1%	19,3%	10,7%	3,5%
2	31,4%	44,7%	0,0%	2,5%	16,5%	20,5%
3	40,5%	52,6%	1,7%	20,6%	15,6%	15,1%
4	51,2%	60,2%	14,5%	27,7%	25,3%	29,3%
5	61,6%	61,0%	21,5%	35,1%	37,7%	32,2%
7	62,7%	64,7%	29,3%	33,5%	31,2%	34,4%
14	76,1%	81,2%	93,1%	77,8%	98,3%	97,9%
21	90,0%	89,2%	37,4%	51,2%	76,5%	91,9%
28	95,9%	95,4%	77,6%	88,7%	95,4%	98,9%

**Tabel LB. 14 Efisiensi Penyisihan Warna Metilen Biru *P. aeruginosa***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0%	0	0	0	0	0
1	63%	68%	52%	55%	0%	0%
2	72%	77%	66%	57%	21%	5%
3	69%	73%	57%	53%	16%	9%
4	72%	72%	63%	64%	13%	7%
5	66%	66%	56%	56%	0%	0%
7	68%	67%	55%	66%	3%	1%
14	79%	73%	71%	29%	10%	11%
21	86%	77%	77%	25%	19%	13%
28	88%	78%	33%	26%	20%	12%



**Tabel LB. 15 Efisiensi Penyisihan Warna Metil Violet *B. subtilis***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0	0	0	0	0	0
1	64%	44%	43%	9%	48%	42%
2	69%	53%	48%	16%	59%	61%
3	81%	63%	59%	28%	54%	63%
4	80%	73%	61%	43%	79%	76%
5	86%	81%	82%	53%	73%	70%
7	88%	82%	86%	39%	90%	78%
14	95%	92%	93%	68%	97%	96%
21	98%	97%	97%	94%	99%	98%
28	98%	97%	98%	96%	99%	99%

**Tabel LB. 16 Efisiensi Penyisihan Warna Metil Violet *P. aeruginosa***

Hari ke-	Efisiensi Penyisihan Warna					
	RA		RB		RC	
	1	2	1	2	1	2
0	0	0	0	0	0	0
1	37%	57%	16%	22%	34%	11%
2	74%	67%	34%	39%	6%	0%
3	55%	59%	35%	7%	33%	4%
4	61%	63%	8%	12%	11%	5%
5	64%	63%	15%	15%	18%	14%
7	75%	76%	43%	39%	35%	30%
14	90%	89%	53%	54%	57%	40%
21	93%	93%	70%	67%	78%	60%
28	94%	94%	77%	71%	77%	66%

#### 4. Analisis pH

Tabel LB. 17 pH Reaktor Metil Violet Variabel *B. subtilis*

HARI KE-	METIL VIOLET					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	7,44	6,16	7,52	8,2	7,7	7,5
1	8,1	8,05	6,6	6,94	7,58	7,8
2	7,01	8,6	6,76	8,4	7,64	8,2
3	7,04	7,18	7,26	7	7,85	7,9
4	7,48	7,45	6,94	7,11	7,7	7,57
5	6,94	6,94	8,25	6,57	6,9	7,6
7	6,52	6,67	6,88	6,61	7,6	8,2
14	7,66	7,75	6,94	7,36	7,55	7,73
21	7,66	8,2	7,8	7,75	7,57	7,6
28	8,6	9	9,3	9,4	9,6	8,6

**Tabel LB. 18 pH Reaktor Metil Violet Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-	METIL VIOLET					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
1	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9
2	7,1	7,1	7	7	7,3	7,3
3	6,8	6,8	7,1	7,1	7,2	7,2
4	8,4	8,4	7,2	7,2	7,6	7,6
5	8,8	8,8	7,1	7,1	7,2	7,2
7	8,4	8,4	7	7	7,2	7,2
14	7,9	7,9	7,3	7,3	7,4	7,4
21	8,4	8,4	8,2	8,3	8,4	8,7
28	8,3	8,3	8,3	8,5	8,4	9,1

**Tabel LB. 19 pH Reaktor Metilen Biru Variabel *B. subtilis***

HARI KE-	METILEN BIRU					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	7,44	6,16	7,52	8,2	7,7	7,5
1	8,1	8,05	6,6	6,94	7,58	7,8
2	7,01	8,6	6,76	8,4	7,64	8,2
3	7,04	7,18	7,26	7	7,85	7,9
4	7,48	7,45	6,94	7,11	7,7	7,57
5	6,94	6,94	8,25	6,57	6,9	7,6
7	6,52	6,67	6,88	6,61	7,6	8,2
14	7,66	7,75	6,94	7,36	7,55	7,73
21	7,66	8,2	7,8	7,75	7,57	7,6
28	8,6	9	9,3	9,4	9,6	8,6

**Tabel LB. 20 pH Reaktor Metilen Biru Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-	METILEN BIRU					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	7,2	7,2	7,1	7,1	7,3	7,3
1	7	7	6,8	6,8	7,6	7,6
2	7,4	7,4	7,3	7,3	7,5	7,5
3	7,3	7,3	7,2	7,2	7,4	7,4
4	7,5	7,5	7,4	7,4	7,5	7,5
5	7,5	7,5	7,3	7,3	7,4	7,4
7	7,7	7,7	7,6	7,6	7,7	7,7
14	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9
21	8,6	8,7	8,9	8,9	9	9
28	8,6	8,8	9	9,3	9,1	9,1

**Tabel LB. 21 pH Reaktor Rhodamin B Variabel *B. subtilis***

HARI KE-	RHODAMIN B					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	6,71	6,98	6,84	6,92	6,78	6,93
1	6,2	7,16	6,68	6,75	8,2	7,4
2	6,14	5,8	6,9	6,76	7,2	7,8
3	6,5	5,98	7,01	7,16	7,5	7,3
4	6,85	6	6,8	6,93	7,32	7,1
5	6,94	5,6	6,82	6,83	7,08	6,64
7	6,73	6,63	6,95	7,14	6,34	6,7
14	6,64	6,82	7,05	6,9	6,67	6,9
21	6,85	7,3	7,41	7,2	7,2	7,7
28	7,8	7,8	8,9	8,5	8,4	8,5

**Tabel LB. 22 pH Reaktor Rhodamin B Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-	RHODAMIN B					
	RA (Konsorsium+Warna)		RB (Bakteri+Warna)		RC (Kontrol Warna)	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5
1	7	7	7	7	7,2	7,2
2	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
3	7,6	7,6	7,56	7,56	8	8
4	8,1	8,1	7,8	7,8	7,7	7,7
5	7,9	7,9	7,3	7,3	7,4	7,4
7	7,9	7,9	7,7	7,7	7,7	7,7
14	7,7	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7
21	8,2	8,2	8,3	8,3	8,7	8,7
28	8,2	8,2	8,4	8,4	8,7	8,7

## 5. Analisis Suhu

Tabel LB. 23 Analisis Suhu pada Reaktor Variabel *B. subtilis*

Hari ke-	MV			MB			RB		
	RA	RB	RC	RA	RB	RC	RA	RB	RC
0	33,4	32,5	32,1	31,6	32,2	32,7	33,0	31,6	31,2
1	32,0	31,7	31,8	31,6	31,8	31,3	31,0	32,5	32,8
2	31,9	31,9	32,3	31,8	32,0	31,5	31,2	32,7	33,0
3	32,1	32,5	32,2	32,7	32,5	33,0	33,3	31,9	31,5
4	33,2	33,2	33,6	33,1	33,3	32,8	32,5	34,0	34,3
5	33,4	33,4	33,5	34,0	33,8	34,3	34,6	33,2	32,8
7	32,9	33,0	33,3	32,8	33,0	32,5	32,2	33,7	34,0
9	32,1	32,6	32,7	33,2	33,0	33,5	33,8	32,4	32,0
11	32,5	32,7	33,1	32,6	32,8	32,3	32,0	33,5	33,8
13	32,4	32,8	33,0	32,6	32,8	32,3	32,0	33,5	33,8
14	32,3	32,4	32,7	32,3	32,5	32,0	31,7	33,2	33,5
16	32,6	32,7	33,0	32,6	32,8	32,3	32,0	33,5	33,8
18	32,8	33,0	33,2	32,8	33,0	32,5	32,2	33,7	34,0
20	33,3	33,4	33,7	33,3	33,5	33,0	32,7	34,2	34,5



Hari ke-	MV			MB			RB		
	RA	RB	RC	RA	RB	RC	RA	RB	RC
21	32,4	32,5	32,8	32,4	32,6	32,1	31,8	33,3	33,6
23	32,6	32,7	33,0	32,6	32,8	32,3	32,0	33,5	33,8
25	32,6	32,7	33,0	32,6	32,8	32,3	32,0	33,5	33,8
27	31,6	31,7	32,0	31,6	31,8	31,3	31,0	32,5	32,8
28	29,6	29,7	30,0	29,6	29,8	29,3	29,0	30,5	30,8

**Tabel LB. 24 Analisis Suhu pada Reaktor Variabel *P. aeruginosa***

Hari ke-	MV			MB			RB		
	RA	RB	RC	RA	RB	RC	RA	RB	RC
0	28,4	28,5	27,8	27,1	28,0	28,2	28,4	27,3	27,4
1	28,0	28,8	27,7	27,6	27,6	26,8	26,9	28,2	29,0
2	27,9	28,5	27,9	27,8	27,8	27,0	27,1	28,4	29,2
3	27,5	29,0	28,1	28,7	28,3	28,5	29,2	27,6	27,7
4	28,7	29,2	29,2	29,1	29,1	28,3	28,4	29,7	30,5
5	28,9	29,4	29,4	30,0	29,6	29,8	30,5	28,9	29,0
7	28,5	29,2	29,3	28,8	28,8	28,0	28,1	29,4	30,2
9	28,3	29,7	28,6	29,2	29,3	29,0	29,7	28,6	28,2
11	28,5	29,2	29,2	29,1	29,1	28,3	28,4	29,7	30,5
13	28,4	29,5	29,1	29,1	29,1	28,3	28,4	29,5	30,5
14	28,3	28,9	28,9	28,8	28,8	28,0	28,1	29,0	30,2
16	28,6	29,2	29,2	29,1	29,1	28,3	28,4	29,7	30,5
18	28,6	29,2	29,2	29,8	29,8	29,0	29,1	30,4	31,2
20	28,7	28,5	28,6	30,3	30,3	29,5	29,6	30,2	31,7

Hari ke-	MV			MB			RB		
	RA	RB	RC	RA	RB	RC	RA	RB	RC
21	28,9	29,5	29,5	29,4	29,4	28,6	28,7	30,0	30,8
23	29,3	29,7	29,7	29,6	29,6	28,8	28,9	30,2	31,0
25	30,5	30,7	30,7	30,6	30,6	29,8	29,9	31,2	32,0
27	29,1	29,7	29,7	29,6	29,6	28,8	28,9	30,2	31,0
28	28,5	27,7	27,7	28,1	28,1	27,8	26,9	28,2	29,0

## 6. Analisis CFU

Tabel LB. 25 Analisis CFU Hari ke-0 Variabel *B. subtilis*

HARI KE-0									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	109	215	162	0,000001	10	16200000	7,209515
		Bakteri	41	0	41	0,000001	10	4100000	6,612784
		Kontrol Warna	1	2	1,5	0,000001	10	150000	5,176091
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	19	7	13	0,000001	10	1300000	6,113943
		Bakteri	30	72	51	0,000001	10	5100000	6,70757
		Kontrol Warna	31	0	15,5	0,000001	10	1550000	6,190332
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	128	131	129,5	0,000001	10	12950000	7,11227
		Bakteri	63	0	31,5	0,000001	10	3150000	6,498311
		Kontrol Warna	6	0	3	0,000001	10	300000	5,477121

**Tabel LB. 26 Analisis CFU Hari ke-7 Variabel *B. subtilis***

HARI KE-7									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	108	93	100,5	0,000001	10	10050000	7,002166
		Bakteri	143	166	154,5	0,000001	10	15450000	7,188928
		Kontrol Warna	9	0	4,5	0,000001	10	450000	5,653213
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	157	89	123	0,000001	10	12300000	7,089905
		Bakteri	178	81	129,5	0,000001	10	12950000	7,11227
		Kontrol Warna	7	1	4	0,000001	10	400000	5,60206
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	255	170	212,5	0,000001	10	21250000	7,327359
		Bakteri	58	64	61	0,0000001	10	61000000	7,78533
		Kontrol Warna	18	2	10	0,00000001	10	100000000	8

**Tabel LB. 27 Analisis CFU Hari ke-14 Variabel *B. subtilis***

HARI KE-14									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	56	42	49	0,000001	10	4900000	6,690196
		Bakteri	31	34	32,5	0,000001	10	3250000	6,511883
		Kontrol Warna	10	7	8,5	0,000001	10	850000	5,929419
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	77	31	54	0,000001	10	5400000	6,732394
		Bakteri	51	37	44	0,000001	10	4400000	6,643453
		Kontrol Warna	143	167	155	1E-07	10	1,55E+08	8,190332
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	185	113	149	0,000001	10	14900000	7,173186
		Bakteri	241	167	204	0,000001	10	20400000	7,30963
		Kontrol Warna	18	16	17	1E-07	10	17000000	7,230449

**Tabel LB. 28 Analisis CFU Hari ke-21 Variabel *B. subtilis***

HARI KE-21									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	88	280	184	0,00001	10	1840000	6,264818
		Bakteri	79	287	183	0,00001	10	1830000	6,262451
		Kontrol Warna	227	180	203,5	0,00001	10	2035000	6,308564
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	185	36	110,5	0,00001	10	1105000	6,043362
		Bakteri	131	0	65,5	0,00001	10	655000	5,816241
		Kontrol Warna	181	88	134,5	0,00001	10	1345000	6,128722
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	81	89	85	1E-08	10	8,5E+08	8,929419
		Bakteri	83	53	68	1E-08	10	6,8E+08	8,832509
		Kontrol Warna	71	78	74,5	0,000001	10	7450000	6,872156

**Tabel LB. 29 Analisis CFU Hari ke-28 Variabel *B. subtilis***

HARI KE-28									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	50	67	58,5	0,0001	10	58500	4,767156
		Bakteri	87	0	43,5	0,001	10	4350	3,638489
		Kontrol Warna	210	0	105	0,001	10	10500	4,021189
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	207	133	170	0,0001	10	170000	5,230449
		Bakteri	248	288	268	0,0001	10	268000	5,428135
		Kontrol Warna	35	60	47,5	0,0001	10	47500	4,676694
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	73	41	57	0,0001	10	57000	4,755875
		Bakteri	44	56	50	0,0001	10	50000	4,69897
		Kontrol Warna	31	29	30	0,0001	10	30000	4,477121



**Tabel LB. 30 Analisis CFU Hari ke-0 Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-0										
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU	Nilai Log CFU Fix
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	164	66	115	0,000001	10	11500000	7,060698	7,060698
		Bakteri	110	72	91	0,000001	10	9100000	6,959041	6,959041
		Kontrol Warna		50	50	0,000001	10	5000000	6,69897	6,056135
				259	259	0,0001	10	259000	5,4133	
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	85	46	65,5	0,000001	10	6550000	6,816241	6,816241
		Bakteri	109	165	137	0,000001	10	13700000	7,136721	7,136721
		Kontrol Warna	225	134	179,5	0,0001	10	179500	5,254064	5,254064
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	179	179	179	0,000001	10	17900000	7,252853	7,641118
			107	107	107	0,0000001	10	107000000	8,029384	
		Bakteri	149	154	151,5	0,000001	10	15150000	7,180413	7,180413
		Kontrol Warna	123	123	123	0,0001	10	123000	5,089905	5,42289
			57	57	57	0,00001	10	570000	5,755875	

**Tabel LB. 31 Analisis CFU Hari ke-7 Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-7										
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	56	56	56	0,001	10	5600	3,748188	3,748188
		Bakteri	243	243	243	0,001	10	24300	4,385606	4,385606
		Kontrol Warna	47	47	47	0,0001	10	47000	4,672098	4,672098
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	163	44	103,5	0,001	10	10350	4,01494	4,01494
		Bakteri	169	169	169	0,0001	10	169000	5,227887	5,526981
				67	67	0,00001	10	670000	5,826075	
Kontrol Warna	33	33	33	0,01	10	330	2,518514	2,518514		
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	31	31	31	0,0001	10	31000	4,491362	4,27791
			116	116	116	0,001	10	11600	4,064458	
		Bakteri	64	98	81	0,0001	10	81000	4,908485	4,908485
		Kontrol Warna	32	32	32	0,1	10	32	1,50515	1,50515

**Tabel LB. 32 Analisis CFU Hari ke-14 Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-14									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	49	49	49	0,001	10	4900	3,690196
			32	32	32	0,01	10	320	2,50515
		Bakteri	150	118	134	0,001	10	13400	4,127105
		Kontrol Warna	22	5	13,5	0,01	10	135	2,130334
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	100	100	100	0,00001	10	1000000	6
			66	66	66	0,001	10	6600	3,819544
		Bakteri	232	232	232	0,01	10	2320	3,365488
		Kontrol Warna	30	30	30	0,01	10	300	2,477121
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	37	37	37	0,01	10	370	2,568202
			38	38	38	0,00001	10	380000	5,579784
		Bakteri	88	88	88	0,0001	10	88000	4,944483
			93	93	93	0,0001	10	93000	4,968483
		Kontrol Warna	121	121	121	0,001	10	12100	4,082785

**Tabel LB. 33 Analisis CFU Hari ke-21 Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-21									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	41	109	75	0,001	10	7500	3,875061
		Bakteri	157	157	157	0,0001	10	157000	5,1959
			132	132	132	0,001	10	13200	4,120574
		Kontrol Warna	35	72	53,5	0,01	10	535	2,728354
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	30	30	30	0,01	10	300	2,477121
		Bakteri	33	86	59,5	0,01	10	595	2,774517
		Kontrol Warna	31	41	36	0,1	10	36	1,556303
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	121	78	99,5	0,01	10	995	2,997823
		Bakteri	43	79	61	0,0001	10	61000	4,78533
		Kontrol Warna	65	65	65	0,0001	10	65000	4,812913
			212	212	212	0,001	10	21200	4,326336

**Tabel LB. 34 Analisis CFU Hari ke-28 Variabel *P. aeruginosa***

HARI KE-28									
No	Pewarna	Reaktor	Hasil Jumlah Koloni		RataRata Koloni	Angka Pengenceran	Volume Sampel	Jumlah koloni bakteri (koloni/mL)	Nilai Log CFU
1	Metilen Biru	Tumbuhan+Bakteri	52	62	57	0,001	10	5700	3,755875
		Bakteri	80	138	109	0,001	10	10900	4,037426
		Kontrol Warna	95	48	71,5	0,01	10	715	2,854306
2	Rhodamin B	Tumbuhan+Bakteri	46	46	46	0,01	10	460	2,662758
		Bakteri	105	60	82,5	0,01	10	825	2,916454
		Kontrol Warna	80	80	80	0,01	10	800	2,90309
3	Metil Violet	Tumbuhan+Bakteri	41	62	51,5	0,01	10	515	2,711807
		Bakteri	139	139	139	0,001	10	13900	4,143015
			48	48	48	0,0001	10	48000	4,681241
		Kontrol Warna	132	52	92	0,0001	10	92000	4,963788

## 7. Analisis Morfologi

**Tabel LB. 35 Analisis Morfologi Variabel *B. subtilis***

Kontrol			Rhodamin B			Metilen Biru			Metil Violet		
Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun
0	6	5	0	6,2	4	0	6,4	6	0	6,3	5
1	6,2	5	1	6,2	4	1	6,4	6	1	6,3	5
2	6,2	5	2	6,3	5	2	6,5	7	2	6,4	6
3	6,3	6	3	6,5	5	3	6,6	7	3	6,5	6
4	6,4	6	4	6,6	6	4	6,7	7	4	6,7	6
5	6,4	6	5	6,8	6	5	6,9	8	5	6,8	7
7	7,1	8	7	7,8	9	7	7,1	10	7	7,2	8
14	7,3	10	14	8,3	15	14	7,6	14	14	7,8	12
21	7,5	13	21	9,5	21	21	8,2	18	21	8,3	16
28	7,6	16	28	9,7	22	28	8,6	19	28	8,5	18

**Tabel LB. 36 Analisis Morfologi Variabel *P. aeruginosa***

Kontrol			Rhodamin B			Metilen Biru			Metil Violet		
Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun	Hari ke-	Lebar daun (cm)	Jumlah Daun
0	5	4	0	5,2	5	0	5	5	0	5,2	6
1	5	4	1	5,2	5	1	5,2	5	1	5,3	6
2	5	4	2	5,3	5	2	5,3	6	2	5,5	7
3	5,1	4	3	5,3	6	3	5,5	6	3	5,6	7
4	5,1	5	4	5,5	6	4	5,6	6	4	5,7	8
5	5,3	5	5	5,6	6	5	5,7	7	5	5,8	9
7	5,3	5	7	5,6	6	7	6	7	7	6,2	9
14	5,5	6	14	6	9	14	6,3	9	14	6,6	11
21	5,7	6	21	6,4	9	21	6,7	10	21	7	12
28	5,8	7	28	6,6	10	28	7	11	28	7,2	13

## 8. Analisis Berat Basah dan Berat Kering

**Tabel LB. 37 Variabel *B. subtilis***

Hari ke-	BB RA (gram)	BK RA (gram)	BB Kontrol (gram)	BK Kontrol (gram)	Pewarna
0	12,8	3,8	12,4	3,8	Rhodamin B
	12,5	3,6	12,4	3,8	Metilena Biru
	14	3,9	12,4	3,8	Metil Violet
28	19,2	13	18,7	6,8	RB 28
	19,6	16	18,7	6,8	MB 28
	22,3	18,2	18,7	6,8	MV 28

**Tabel LB. 38 Variabel *P. aeruginosa***

Hari ke-	BB RA (gram)	BK RA (gram)	BB Kontrol (gram)	BK Kontrol (gram)	Pewarna
0	15,6	7	12,4	3,8	Rhodamin B
	16,2	7,6	12,4	3,8	Metilena Biru
	22,7	12,4	12,4	3,8	Metil Violet
28	22	9,4	18,7	6,8	RB 28
	23,3	10,7	18,7	6,8	MB 28
	31	14,1	18,7	6,8	MV 28



## BIOGRAFI PENULIS



Khonsa Rofifah dilahirkan di Jakarta pada tanggal 10 April 1996. Penulis merupakan anak ketiga dari 5 bersaudara. Penulis merupakan menempuh pendidikan formal di TK NURUL FIKRI Depok, SDN Percontohan 05 Cipedak, SMPIT As Syifa Boarding School Subang, dan SMAIT As Syifa Boarding School Subang. Pada Tahun 2014, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Pada 2018, penulis menjadi asisten praktikum kimia lingkungan 2 dan praktikum remediasi badan air dan pesisir. Penulis pernah aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2016-2017 sebagai Sekretaris I. Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Pertamina RU III Unit Plaju di *Health, Safety, and Environment*. Penulis dapat dihubungi melalui email [khonsa.rofifah@gmail.com](mailto:khonsa.rofifah@gmail.com)

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



A-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat 04-Mei-18  
Pukul : 09.00-10.00  
Lokasi : TL 101  
Judul : Dekolorisasi Air Limbah Tekstil Secara Biologis Menggunakan Konsorsium Tumbuhan Air dengan Bakteri Tunggul  
Nama : Khonsa Rofifah  
NRP. : 03211440000090  
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL 447

Tanda Tangan

  
KHONSA ROFIYAH

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
①	Graph BB - BK → diperbaiki
②	Prof. Sarwoto * Judul → single bacterium * Bioaugmentasi → masalah * Kegunaan ekotranspirasi * Kegunaan BB - BK
③	Pak Iwan * Artificial → ganti Gurata * Fungsi reaktor Kontrol/Kawalan * Nilai kontrol tidak ditampikan * 2006 → paper dari Prof. Sarwoto.
④	Bu Aulia * Susun laporan * Kempen * Koneksi pH, suhu, & remane.

30/5/2018



Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

(  )

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR  
 Periode: Ganjil 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
 Ujian Tugas Akhir

Nilai TOEFL 470

Hari, tanggal : Senin, 02-Jul-18

Pukul : 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi : TL-101

Judul : FITO PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN TANAMAN AIR DAN BIOAUGMENTASI BAKTERI

Nama : Khonsa Rofifah  
 NRP. : 0321144000090  
 Topik : Penelitian

Tanda Tangan

KHONSA ROFIYAH

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
①	<p>Prof. Sarwoto</p> <p>Hari bakteri → B. subtilis &amp; P. aeruginosa → COD &amp; BOD</p> <p>Begitu saja → hanya uli dilapori saja.</p>
②	<p>P. Irvan</p> <p>Perbedaan grafik</p> <p>Foto pentalat warna</p> <p>⊕ Di kontrol ada penunam → Air PDAM → pentalat ada fito &amp; →          membunuh bakteri → hrs di 0 → ad Colipen / E. coli →          bisa benar benar</p>
③	<p>B. Alex</p> <p>Kontrol yg berbeda → B. subtilis &amp; P. aeruginosa → Foto dengan          kontrol antar Anorg &amp; kempipula }          Hari yg sama → ?          Tipe 2 &amp; 3</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Diambil

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

( )

18/7/2018

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**




**FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR**

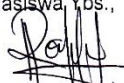
Nama : Khonsa Rotifah  
 NRP : 0321144000090  
 Judul Tugas Akhir : Pengolahan Air Limbah Tekstil Menggunakan Tanaman Air & Biokusneten Bakteri

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	COD & BOD	Dimasukkan ke dalam saran
2.	Pengukuran suhu	sebagai parameter penday.
3.	Perbaikan grafik	sudah diperbaiki
4.	Efek dari sisa kelor	tidak ada karena sudah hilang.
5.	Korelasi ANOVA & kesimpulan	sudah diervakan
6.	Nilai kontrol yg berbeda	alibat proses fotobioteknik

Dosen Pembimbing,

  
Harmin Sulistyoning, T.S.T., M.T., Ph.D.

Mahasiswa, Ybs.,

  
Khonsa Rotifah

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**





**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Khonsa Rotifah  
 NRP : 0321144000090  
 Judul Tugas Akhir : Fito pengolahan air limbah tekstil dengan bioaugmentasi bakteri

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	17/1 2018	Asistensi draft proposal TA	
2	25/1 2018	Asistensi konten ppt untuk seminar proposal	
3.	2/2 2018	Revisi proposal TA	
4	8/3 2018	Asistensi perhitungan jumlah tanaman & pemilihan pendakuluan	
5.	28/3 2018	Asistensi hasil running TA hari 0 - hari ke 7	
6.	9/4 2018	Asistensi hasil running TA sampai hari ke 14.	
7.	20/4 2018	Asistensi draft tugas akhir	
8.	25/4 2018	Asistensi hasil PCA	
9.	29/5 2018	Asistensi Revisi tugas akhir pasca seminar keagregan.	

Surabaya, .....  
 Dosen Pembimbing