

PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN TANAMAN AIR DAN BIOAUGMENTASI BAKTERI

Khonsa Rofifah^{*1)} dan Harmin Sulistiyaning Titah¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kompleks Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

¹⁾E-mail: harmin_st@its.ac.id

Abstrak

Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah cair tekstil adalah zat warna sintetik. Salah satu pewarna sintetik yang umum digunakan pada industri tekstil adalah metil violet. Zat warna sintetik pada limbah cair ini memiliki dampak negatif ketika dibuang ke badan air, yaitu menghambat proses fotosintesis alami, menyebabkan kondisi anaerobik, dan meningkatkan nilai BOD. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan limbah cair tekstil berupa penyisihan warna (dekolorisasi) untuk menghilangkan kontaminan. Pada penelitian ini, metode dekolorisasi yang digunakan adalah metode biologis dikarenakan 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 penelitian ini, *Eichornia crassipes* (eceng gondok) akan diaugmentasi dengan bakteri *Bacillus subtilis* untuk menyisihkan warna 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 5 hari. Penelitian selanjutnya merupakan tahap fito pengolahan selama 7 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 dekolorisasi, yaitu reaktor konsorsium (RA), reaktor kontrol bakteri (RB), dan reaktor kontrol warna (RC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyisihan warna metil violet pada RA oleh konsorsium *E. crassipes* dengan *B. subtilis* selama tiga hari mencapai 85%, sedangkan penyisihan warna pada RB mencapai 62% dan penyisihan warna pada RC mencapai 32%. Pada pengolahan dengan *E. crassipes*, bioaugmentasi bakteri dapat meningkatkan efisiensi penyisihan warna metil violet sebesar 23% dibandingkan pengolahan yang hanya menggunakan *B. subtilis* saja.

Kata kunci: *subtilis*, bioaugmentasi, *Eichornia crassipes*, konsorsium, metil violet.

Abstract

Most of the constituents in the textile wastewater are synthetic dyes. One of the synthetic dyes commonly used in textile industries is metil violet. Synthetic dyes in wastewater cause negative impact to the receiving water body; hinder natural photosynthesis, cause anaerobic condition, and increase BOD. Therefore, textile wastewater treatment for decolorization is required. In this research, decolorization method employed was biological since it is considerably more environmental friendly, less costly, and less residual production after process. Biological method applied in this study was using aquatic plant (*Eichornia crassipes*) and bacterial bioaugmentation (*Bacillus subtilis*) to increase efficiency of metil violet decolorization. The dye concentration was 23 mg/L. The study was performed by examining bacterial potential, 30-day propagation step, including 50-day acclimatization. The next study was phyto treatment stage for 7 days by analyzing color intensity as well as other supporting parameters such as temperature, pH, plant morphology, bacterial coloni, and plant cell analysis. There were three reactors used for decolorization, namely consortium reactor (RA), bacterial control reactor (RB), and color control reactor (RC). The results showed that metil violet decolorization in RA by *E. crassipes* and *B. subtilis* consortium for three days reach 85%, while decolorization in RB and RC reached 62% and 32%, respectively. Treatment using *E. crassipes* increased metil violet decolorization by 23% compared with only using *B. subtilis*.

Key words: *B. subtilis*, bioaugmentation, *E. crassipes*, consortium, metil violet.

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya, pencemaran air oleh industri tekstil 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 *dkk.*, 2003). Berbagai pewarna golongan kationik seperti metil violet sering digunakan sebagai cat, tinta, dan pewarna tekstil (Fatin, 2015). Metil violet memiliki sifat persisten, sulit dibiodegradasi dan mengandung senyawa anilin yang bersifat toksik, mutagenik dan karsinogen (Sanjaya *dkk.*, 2018). Oleh sebab itu diperlukan sebuah pengolahan limbah cair untuk menyisahkan zat pewarna (dekolorisasi). Metode dekolorisasi secara biologis merupakan metode alternatif yang lebih menguntungkan karena lebih sederhana, murah, ramah lingkungan, tidak menghasilkan limbah sekunder berupa sedimentasi lumpur dalam jumlah besar (Azizah, 2008).

Dekolorisasi secara biologis oleh tumbuhan air telah dilakukan sebelumnya menggunakan *Eichornia crassipes* menunjukkan efisiensi penyisihan warna metilen biru sebesar 98,42% dan metilen orange 66,80% (Tan *dkk.*, 2016). Sedangkan pada tumbuhan *Eichornia crassipes* dapat menyisahkan warna metilen biru hingga 59%, warna rhodamin B hingga 52%, dan metil violet sebesar 51 % (Herrena, 2017). Namun, pada aplikasinya di lapangan fitoremediasi masih menghadapi beberapa kendala terhadap kontaminan, seperti penyerapan, dan fitotoksisitas (Gerhardt *dkk.*, 2009) dan evapotranspirasi (Weyens *dkk.*, 2009).

Terdapat pula 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 *dkk.*, 2009), *Fast Red* sebesar 99% (Mabrouk dan Yusef, 2008). 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 *dkk.*, 2013).

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 *dkk.*, 2012).

Pada penelitian remediasi limbah tekstil menunjukkan efisiensi penyisihan warna dengan augmentasi bakteri *Pseudomonas monteili* adalah 42%, efisiensi fitoremediasi dengan *Glandularia pulchella* adalah 62%, dan konsorsium antara *P. monteili* dan *G. pilchella* menunjukkan efisiensi penyisihan warna hingga 93% (Khan *dkk.*, 2013). Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan potensi bakteri *B. subtilis* dalam menyisahkan warna metil violet serta menentukan efisiensi penyisihan warna metil violet menggunakan tumbuhan air *E. crassipes* dan bioaugmentasi bakteri *B. subtilis*.

2. METODE PENELITIAN

Uji Potensi Bakteri

Uji potensi bakteri dilakukan untuk mengetahui potensi *B. subtilis* dalam melakukan penyisihan warna metil violet. Metil violet memiliki struktur kimia $C_{24}H_{28}N_3Cl$ dan memiliki warna hijau gelap pada bentuk bubuknya. Konsentrasi pewarna metil violet yang digunakan adalah 23 mg/L (Herrena, 2017), untuk membandingkan efisiensi penyisihan warna pada penelitian tersebut yang hanya menggunakan *Eichornia crassipes* sebagai *phytoremediation*.

Pada uji potensi bakteri terdapat 2 reaktor, yaitu reaktor kontrol fisik berisi pewarna tanpa perlakuan dan reaktor kontrol bakteri berisi pewarna dengan bioaugmentasi bakteri. Pada reaktor kontrol fisik, media pewarna metil violet dibuat dengan konsentrasi 23 mg/L sebanyak 100 mL dari larutan baku pewarna metil violet 1000 mg/L. Mula-mula, suspensi bakteri dibuat dengan menginokulasikan 3 ose bakteri *B. subtilis* ke 100 mL media *Nutrient Broth* (Merck, Germany) kemudian di letakkan pada *rotary shaker* (Memert+, Germany) selama setengah fase eksponensial *B. subtilis*, yaitu 4 jam (Purwanti *dkk.*, 2016).

Selanjutnya, media pewarna dengan konsentrasi 23 mg/L sebanyak 100 mL dibuat dari larutan baku pewarna metil violet 1000 mg/L. Kemudian suspensi bakteri yang telah mencapai setengah fase eksponen ditanam pada media pewarna sebanyak 5% (v/v) dari volume media cair bakteri dan diletakkan pada *rotary shaker* (Memert+, Germany) selama 3 hari (Ashtana *dkk.*, 2014).

Selanjutnya media warna dari reaktor kontrol fisik dan kontrol masing-masing diukur konsentrasinya pada hari ke-0 dan hari ke-3 menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan spektrofotometer (Genesys 20, US) menggunakan panjang gelombang 580

nm. kemudian persentase efisiensi penyisihan warna dihitung dengan rumus berikut:

$$\frac{C. \text{warna awal} - C. \text{warna akhir}}{\text{konsentrasi warna awal}} \times 100\%$$

Selisih efisiensi penyisihan warna dari reaktor kontrol dan reaktor kontrol bakteri menunjukkan potensi bakteri *B. subtilis* untuk penyisihan warna metil violet.

Tahap Propagasi Tumbuhan

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). 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). Pada tahap propagasi dilakukan pengamatan berupa lebar daun selama 30 hari.

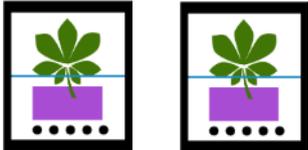
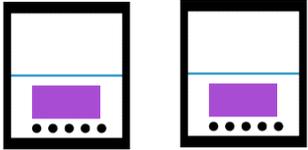
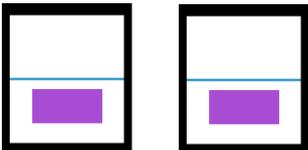
Tahap Aklimatisasi Tumbuhan

Tahap aklimatisasi tumbuhan ini dilakukan agar tumbuhan *E. crassipes* dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang akan digunakan pada tahap uji tahap fito pengolahan. Proses tahap aklimatisasi tumbuhan ini dilakukan dengan cara meletakkan tumbuhan pada reaktor selama 7 hari menggunakan air PDAM (Karenlampi *dkk.*, 2000). 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.

Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan pada *phyto treatment* terbuat dari plastik dengan ukuran 40 x 20 x 25 cm dengan kapasitas 20 L. Reaktor yang digunakan terbagi menjadi tiga, yaitu RA, RB, dan RC dengan pengoperasian sistem *batch*. RA adalah reaktor berisi pewarna dengan konsorsium antara tumbuhan dan bakteri. RB adalah reaktor berisi pewarna dan bakteri sebagai kontrol bakteri, sedangkan RC adalah reaktor berisi pewarna saja tanpa perlakuan. Setiap reaktor berisi pewarna dengan konsentrasi 23 mg/L. Masing-masing reaktor berjumlah dua (duplo). Hal ini bertujuan agar ada pembandingan untuk setiap reaktor dan sebagai pertimbangan ketika melakukan analisis. Ilustrasi dari reaktor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Reaktor pada Penelitian Utama

Reaktor	Perlakuan
RA	
RB	
RC	

Inokulasi Bakteri

Inokulum bakteri yang diinokulasi ke reaktor sebanyak 5% (v/v) dari volume media warna. Volume media warna adalah 10 L, sehingga dibutuhkan inokulum sebanyak 0,5 L setara dengan 500 mL. Mula-mula, isolat bakteri yang sudah diinokulasikan pada media *nutrient agar* (Merck, Germany) miring 24 jam diambil menggunakan jarum ose yang

sudah disterilkan sebanyak 10 loop untuk kemudian dilarutkan ke dalam 2 L media *nutrient broth* (Merck, Germany). Setelah dicampurkan ke media NB, inokulum diinkubasi pada *shaker* 140 rpm selama fase eksponen bakteri, yaitu 4 jam. Hal ini dikarenakan pertumbuhan maksimum terjadi pada saat fase eksponen (Purwanti *dkk.*, 2016). Setelah diinkubasi pada *shaker*, inokulum sebanyak 0,5 L dituangkan ke reaktor yang telah berisi limbah tekstil artifisial dengan konsentrasi 23 mg/L.

Penelitian Utama

Tahap penelitian utama dilaksanakan selama 7 hari. Tanaman yang digunakan merupakan tanaman yang telah diaklimatisasi selama 7 hari. Tahap *phyto treatment* dilaksanakan di *greenhouse* Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.

Parameter yang diukur

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah warna menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan pengambilan sampel satu kali sehari. Sedangkan parameter pendukung yang diamati adalah pH, suhu, jumlah koloni bakteri, dan *plant cell analysis*.

Pengukuran warna

Pengukuran warna dilakukan pada hari ke 1-5 dan hari ke 7. *Sampling* dilakukan dengan cara mengambil media warna sebanyak 10 mL dari 10 titik di reaktor dengan kedalaman dan letak yang berbeda. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *centrifuge* (Andreas Hettich, Germany) dengan kecepatan 5000 rpm selama 20 menit. Kemudian supernatan dibaca pada spektrofotometer (Genesys 20, US) dengan panjang gelombang 580 nm. Perhitungan persentase efisiensi penyisihan warna didapatkan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{C. \text{warna awal} - C. \text{warna akhir}}{\text{konsentrasi warna awal}} \times 100\%$$

Pengukuran pH

pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan dan juga disebut sebagai tingkat keasaman atau alkalinitas (Trick, 2008). pH merupakan parameter penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme, sehingga analisis pH juga bertujuan untuk memastikan pH masih dalam *range* perkembang biakan bakteri dan memantau aktivitas bakteri. pH juga salah satu parameter yang memengaruhi pertumbuhan tanaman produksi daun, bahkan berpengaruh pula pada kualitas kehijauan daun, sehingga dilakukan pengukuran pH untuk memastikan pH masih dalam *range* untuk pertumbuhan *E. crassipes*. Pengukuran pH dilakukan dengan pH meter merk Hanna.

Jumlah Koloni Bakteri

Analisis jumlah koloni bakteri pada penelitian ini dilakukan untuk melihat tren pertumbuhan bakteri dan memastikan adanya bakteri *B. subtilis* pada tahap penelitian utama. Analisis ke-dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7. Penelitian ini menggunakan metode hitungan cawan dengan pengenceran (Prescott, 2002). Media agar yang digunakan pada metode ini adalah media selektif sehingga bakteri yang akan tumbuh hanyalah bakteri yang dikehendaki, yaitu *B. subtilis*. Media selektif yang digunakan adalah *Bacillus differentiation agar* (Himedia, India). Hal ini memudahkan untuk mengamati pertumbuhan bakteri pada media.

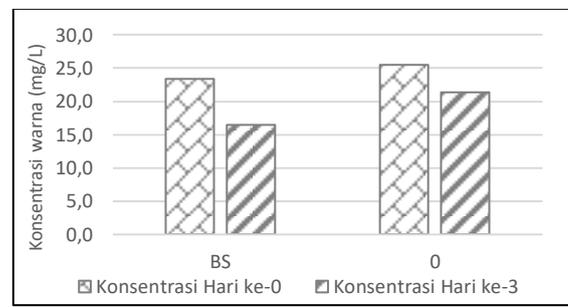
Plant Cell Analysis (PCA)

Plant Cell Analysis dilakukan untuk mengamati sel tumbuhan (akar, batang, dan daun) sebelum dan setelah mendapatkan perlakuan. Pada PCA, sampel tanaman dipotong secara melintang pada tiga bagian, yaitu daun, batang, dan akar. Sampel dipotong dengan sangat tipis, diletakkan pada preparat, kemudian diamati menggunakan mikroskop cahaya (Yizuma, Japan). Sel-sel tumbuhan diamati dengan pembesaran 10-40x, kemudian hasil pengamatan difoto.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Potensi Bakteri

Berdasarkan uji potensi bakteri yang telah dilaksanakan selama 3 hari, Reaktor BS memiliki efisiensi penyisihan warna sebesar 30%, sedangkan Reaktor 0 memiliki efisiensi penyisihan warna sebesar 16%. Nilai potensi bakteri didapatkan dari selisih efisiensi penyisihan Reaktor BS dan Reaktor 0. Oleh karena itu, nilai potensi bakteri *B. subtilis* dalam menyisihkan warna metil violet selama 3 hari adalah sebesar 14%. Gambar 1 menyajikan grafik dari hasil uji potensi bakteri yang dilaksanakan selama 3 hari.



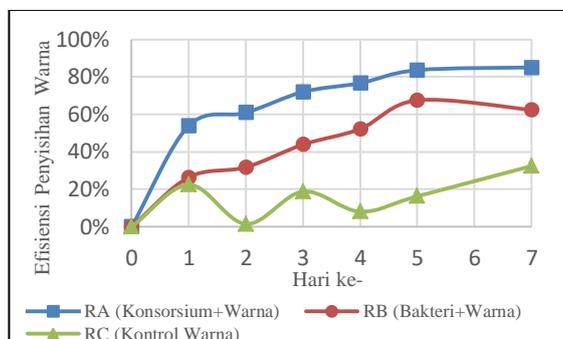
Gambar 1. Grafik Hasil Uji Potensi *B. subtilis*

Pada proses dekolonisasi oleh bakteri, *B. subtilis* diketahui memiliki enzim *azoreductase* yaitu enzim yang dapat memecah ikatan kromofor azo pada pewarna sintetik (Singh dkk., 2015). Kemampuan *B. subtilis* dalam dekolonisasi juga ditunjukkan pada beberapa penelitian sebelumnya, yaitu penyisihan warna basis hijau, direk basis biru, dan secang sebesar 85%, 70%, dan 32% (Mahmudah, 2015), 57,6% pada pewarna *fast red* (Mabrouk dan Yusef, 2008), 80% pada pewarna *disperse yellow 211* (Sharma dkk., 2009). Berdasarkan hasil dari uji potensi bakteri, didapatkan bahwa bakteri *B. subtilis* dapat digunakan untuk dekolonisasi warna metil violet.

Analisis Konsentrasi Warna

Berdasarkan penelitian utama yang dilaksanakan selama 7 hari, bahwa penyisihan warna metil violet pada RA memiliki nilai efisiensi 85%, RB memiliki nilai efisiensi

62% dan reaktor kontrol memiliki nilai efisiensi 32%. Gambar 2 menyajikan grafik persentase penyisihan warna metil violet selama 7 hari.



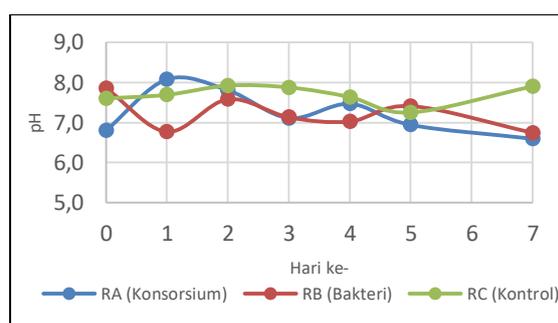
Gambar 2. Persentase Penyisihan Warna Metil Violet

Sejak hari ke-0 hingga hari ke-7, reaktor konsorsium menunjukkan nilai efisiensi penyisihan lebih tinggi daripada reaktor bakteri dan reaktor fisik. Pada reaktor konsorsium, tanaman memiliki peran dalam penyisihan warna. Mekanisme penyisihan warna dapat dilakukan dengan beberapa cara. Sistem perakaran tanaman biasanya menyerap kontaminan pada suatu media dan mencegah lingkungan dari toksisitas oleh kontaminan (Mahar *dkk.*, 2016), yang disebut proses fitoekstraksi. Pada proses fitoekstraksi, kontaminan yang diserap akan diakumulasi pada bagian tanaman seperti akar, batang dan daun. Selain itu terdapat proses rhizofiltrasi dimana akar menyerap, kemudian mengendapkan kontaminan dari suatu media pada akar. Tanaman berperan mengeluarkan senyawa metabolit dari akar sebagai sumber energi bakteri seperti eksudat, sekresi, *mucilage*, *mucigel* dan *lysate* (Sylvia *dkk.*, 2005). Proses ini akan menimbulkan sinergitas antara bakteri dengan tanaman sehingga terjadi proses degradasi kontaminan oleh bakteri di zona akar. Pada proses dekolorisasi ini, bakteri berperan dengan mensekresi enzim *azoreductase* yang dapat memecah ikatan kromofor pada pewarna sintetik sehingga menjadi senyawa yang tidak berwarna (Saratale *dkk.*, 2011). Sinergitas ini menunjukkan nilai efisiensi

penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor yang menggunakan bakteri secara individu dalam degradasi warna dan tanpa perlakuan sama sekali. Reaktor kontrol fisik (RC) juga menunjukkan adanya penyisihan warna. Hal ini dapat disebabkan adanya mikroorganisme *indigenus* yang ada dalam air sehingga dapat melakukan proses degradasi pada warna tersebut (Herrena, 2017). Selain itu, terdapat proses fisik yang terjadi pada reaktor kontrol seperti pengendapan dan proses fotodegradasi akibat paparan sinar matahari (Daneshvar *dkk.*, 2004).

Analisis pH

pH merupakan salah satu parameter yang memengaruhi efisiensi penyisihan warna. Gambar 3 menunjukkan nilai pH pada RA, RB, dan RC pada penelitian utama yang dilaksanakan selama 7 hari. Penurunan dan kenaikan pH menunjukkan bahwa pada reaktor tersebut terjadi proses aktivitas pertumbuhan bakteri (Imron, 2017) dan aktivitas oleh tumbuhan. Penurunan pH oleh bakteri dapat disebabkan karena adanya aktivitas pertumbuhan bakteri. Aktivitas tersebut menyebabkan terbentuknya asam – asam sederhana dan karbondioksida akibat pemecahan senyawa organik (Abat, 2006).



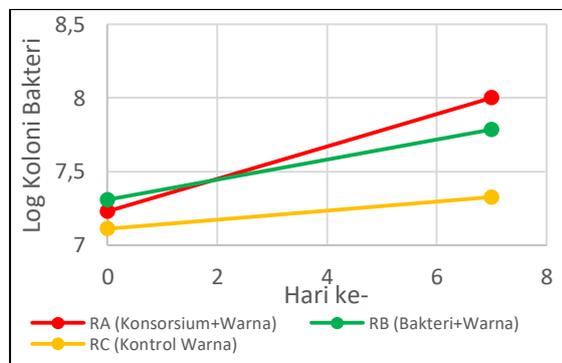
Gambar 3. Grafik pH pada Reaktor dengan Pewarna Metil Violet

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, 1980). Selain itu, kenaikan pH pada media dapat disebabkan oleh aktivitas tumbuhan, yaitu mengeluarkan senyawa bikarbonat yang dapat menyebabkan naiknya pH secara drastis (Wurts dan Durborow, 1992).

Analisis Jumlah Koloni Bakteri

Berdasarkan penelitian yang dilakukan selama 7 hari, grafik log koloni bakteri ditunjukkan Gambar 4. Pada grafik dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan jumlah koloni bakteri dari hari ke-0 hingga hari ke-7. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri masih berada dalam fase eksponensial dimana terjadi pertumbuhan maksimum bakteri (Purwanti *dkk.*, 2016). 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 (Hamdiyati, 2011).



Gambar 4. Grafik Log Koloni Bakteri *B. subtilis*

Kenaikan jumlah koloni bakteri menandakan adanya perkembang biakan bakteri pada media dan aktivitas degradasi warna. Hal ini dapat dilihat seiring dengan peningkatan jumlah koloni bakteri, terjadi pula peningkatan efisiensi penyisihan warna. Gambar 4 menunjukkan bahwa koloni bakteri pada RA memiliki perkembangan paling pesat dibandingkan dengan RB dan RC. Hal ini menguatkan kemungkinan adanya sinergitas

antara bakteri dan tumbuhan dalam proses dekolorisasi ini.

Hasil *Plant Cell Analysis* (PCA)

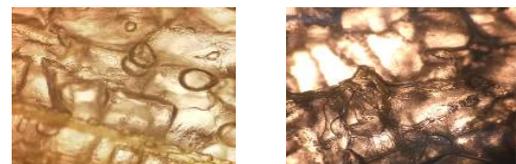
Uji *plant cells analysis* ini dilakukan sebelum dan sesudah tahap dekolorisasi dimana uji ini untuk membandingkan kondisi sel tumbuhan pada media pewarna dengan konsorsium *E. crassipes* dan *B. subtilis* setelah 7 hari. Gambar 5, 6, dan 7 menunjukkan hasil PCA terhadap sel akar, batang, dan daun secara berurutan



(a) (b)

Gambar 5. (a) Hasil PCA terhadap sel akar tanpa perlakuan, dan (b) sel akar pada media pewarna dan bakteri

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada hari ke-0 sel akar masih berwarna coklat. Kemudian pada hari ke-7 sel akar memiliki warna keunguan. Hal ini menunjukkan bahwa metil violet terserap pada bagian akar. Hal ini disebabkan adanya proses rhizofiltrasi dari akar yang dapat menyerap dan menyimpan kontaminan dari media pada zona akar (Pivetz, 2001).

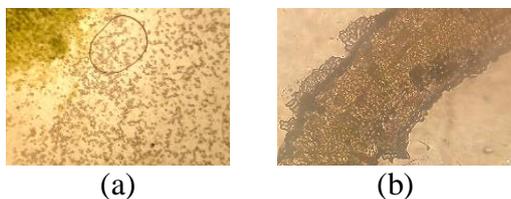


(a) (b)

Gambar 6. (a) Hasil PCA terhadap sel batang tanpa perlakuan dan (b) sel batang pada media pewarna dan bakteri

Pada Gambar 6 dapat dilihat terjadi perubahan warna pada sel batang pada hari ke-0 dan hari ke-7. Pada hari ke-7, sel batang *E. crassipes* mengalami kerusakan pada lapisan sel dalam yaitu aerenkim yang berfungsi sebagai penyimpanan udara

sehingga tumbuhan dapat mengapung dan mengalami perubahan warna pada lapisan epidermis (Herrena, 2017).



Gambar 7. (a) Hasil PCA terhadap sel daun tanpa perlakuan dan (b) sel daun pada media pewarna dan bakteri

Pada Gambar 7 dapat dilihat terjadi perubahan warna pada sel daun *E. crassipes*. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi proses fitoekstraksi yaitu proses penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan yang kemudian diakumulasikan pada jaringan tumbuhan (Pivetz, 2001).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, kesimpulan dalam penelitian ini adalah penyisihan warna metil violet dengan konsentrasi 23 mg/L pada fito pengolahan oleh tanaman air *E. crassipes* dan bioaugmentasi bakteri *B. subtilis* selama lima hari memiliki nilai efisiensi 85%, dimana pewarna dengan bakteri hanya memiliki efisiensi penyisihan warna 62%, dan pewarna tanpa perlakuan memiliki efisiensi penyisihan warna 32%.

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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 TiO₂". *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 164:317-322.
- 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.
- 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.
- Hamdiyati, Y. (2011). "Pertumbuhan dan Pengendalian Mikroorganisme". Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- Herrena, A. (2017). "Fito Pengolahan 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mahar A, Wang P, Ali A, Awasthi MK, Lahori AH, Wang Q, Li R, Zhang Z (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. *Ecotoxicol Environ Saf* 126:111–121.
- 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.
- 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
- 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*.
- 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.
- Sanjaya, H., Hardeli, Syafitri, R. (2018). "Degradasi metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO₂ secara Fotosonolisis". *EKSAKTA* 19, 1
- 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
- Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J, Hartel, P.G., dan Zuberer, D.A. (2005). "Principles and Applications of Soil Microbiology". Technische Universitat Darmstadt.
- 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.
- 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.
- Suelee, A. L. (2015). "Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Water Contaminated with Selected Heavy Metal". *Project Report* for the Degree of Bachelor of Environmental Science and Technology, Universiti Putra Malaysia
- 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.
- Trick, J.K. (2008). "Contaminated Groundwater Sampling and Quality Control of Water Analysis.
- Weyens, N., Lelie, D., Taghavi, S., Vangronsveld, J., (2009). Phytoremediation: plant-endophyte partnerships take the challenge. *Current Opinion in Biotechnology* 20, 248-254.
- Wurts, W.A., dan Durborow, R.M. (1992). "Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds". SRAC Publication, 464.