

DEKOLORISASI PEWARNA TEKSTIL MENGGUNAKAN TEKNIK BATCH DAN ROTARY BIOLOGICAL CONTACTOR DENGAN TIGA JENIS AGEN HAYATI

DECOLORIZATION OF TEXTILE DYES USING BATCH AND ROTARY BIOLOGICAL CONTACTOR TECHNIQUES WITH THREE TYPES OF BIOLOGICAL AGENTS

Haryo Tejo Prakoso^{*1)}, Firda Dimawarnita¹⁾, Annisa Meliana Syarif²⁾, Yora Faramitha¹⁾, Happy Widiastuti¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor, Jl. Taman Kencana 1, Bogor 16128, Indonesia

²⁾Program Studi Bioteknologi, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

*E-mail: haryotejoprakoso@gmail.com

Makalah: Diterima 27 Oktober 2022; Diperbaiki 14 Desember 2022; Disetujui 22 Desember 2022

ABSTRACT

The textile industry is one of the industries that produces liquid waste in the form of dyes such as blue Bordeaux which can be treated biologically, physically or chemically. Biological waste treatment has the advantage since it is safe, environmentally friendly, does not require large costs, and does not cause additional waste pollution. Biological waste treatment can be carried out using white rot fungi (*Omphalina sp* and *Pleurotus ostreatus*) and ligninolytic-methylene-blue degrading bacteria as the decolorizing agents in doses of 15, 30, 45% (w/w). The decolorization test was carried out using two methods, namely the Rotary Biological Contactor (RBC) and Batch Biological Contactor (BBC). This study aimed to determine the optimum concentration of biological agent and to compare the best method among the two in terms of blue Bordeaux decolorization. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was used and the data was analyzed using ANOVA (analysis of variance) with a 95% confidence level followed by Tukey's Honest Significance Difference Test. The results showed that not only the type of agent but also decolorization method had a significant effect on the level of decolorization of the blue Bordeaux textile colour. The highest percentage reduction of blue Bordeaux was found in *Omphalina sp.* as biosorbent with a concentration of 30% using the RBC method for 24 hours.

Keywords: dye decolorization, ligninolytic microorganism, *Omphalina sp.*, *Pleurotus ostreatus*

ABSTRAK

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair berupa zat warna seperti bordeaux biru. Limbah industri ini dapat diolah secara biologi, fisika dan kimia. Pengolahan limbah secara biologi memiliki keunggulan yaitu aman, ramah lingkungan, tidak memerlukan biaya yang besar dan tidak menyebabkan pencemaran limbah lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menguji metode dan jenis agen hayati serta dosisnya yang paling mampu mendekolorisasi bordeaux biru. Dalam penelitian ini diuji 3 jenis agen biologi baik jamur maupun bakteri, yakni dua jamur pelapuk putih (*Omphalina sp* dan *Pleurotus ostreatus*) dan satu bakteri lignolitik yang dapat mendegradasi *methylene blue* sebagai agen biodekolorisasi. Proses (dekolorisasi)—dilakukan menggunakan dua metode yaitu *Rotary Biological Contactor (RBC)* dan *Batch Biological Contactor (BBC)*. Analisis data menggunakan ANOVA (*analysis of variance*) pada tingkat kepercayaan 95% dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) atau uji lanjut Tukey. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik jenis agent maupun metode dekolorisasi berpengaruh nyata terhadap tingkat dekolorisasi warna tekstil biru Bordeaux. Persentase dekolorisasi tertinggi yakni 79,12% ditunjukkan pada penggunaan *Omphalina sp.* Sebagai biosorben pada konsentrasi 30% dengan metode RBC, dalam waktu 24 jam.

Kata kunci: dekolorisasi pewarna, mikroorganisme lignolitik, *Omphalina sp.*, *Pleurotus ostreatus*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil dewasa ini sangat pesat. Berdasarkan Data Pusat Statistik tahun 2022, pertumbuhan industri tekstil mencapai 6,33% (BPS, 2022). Seiring dengan perkembangan tersebut, terdapat dampak lingkungan yang harus diatasi agar tidak menimbulkan pencemaran. Limbah cair industri tekstil sebanyak 20% pada umumnya dibuang langsung ke badan air atau sungai tanpa diperlakukan terlebih dahulu. Terdapat lebih dari 700.000 ton bahan pewarna yang diproduksi tiap tahun dengan

10.000 jenis pewarna (Linde *et al.*, 2021) dan sekitar 20% dari zat warna tekstil yang telah digunakan akan terbuang bersama limbah pada tahap pewarnaan (Haryono *et al.*, 2021). Salah satu jenis pewarna yang banyak digunakan di industri farmasi, percetakan, dan tekstil adalah pewarna azo (Benkhaya *et al.*, 2020; Meyer, 1981). Warna biru Bordeaux merupakan salah satu contoh zat azo yang sering dijumpai pada limbah cair dan umumnya berasal dari industri tekstil. Dampak lingkungan yang disebabkan oleh pewarna sintetik tersebut seperti tingginya BOD dan COD, mutagenik, karsinogenik (Bharagava *et al.*, 2018),

dan toksisitas (Selvankumar *et al.*, 2019). Degradasi pewarna, terutama pewarna reaktif cukup sulit karena strukturnya yang kompleks, kelarutan dalam air, dan sifat sintesisnya (Ehrampoush dan Ghaneian, 2011).

Salah satu metode pengolahan limbah adalah dengan penghilangan zat warna (dekolorisasi), bau, dan kepekatan. Dekolorisasi dapat dilakukan secara kimia dan fisika seperti adsorpsi, koagulasi-flokulasi, oksidasi lanjutan, dan metode elektrokimia (Chaudhari *et al.*, 2017; Donkadokula *et al.*, 2020; Grassi *et al.*, 2011). Namun, metode ini mahal, memiliki masalah operasional dan dapat menghasilkan zat antara yang beracun. Penggunaan agen hayati sebagai biosorben untuk mengabsorb zat warna memiliki keunggulan dibandingkan dekoloresasi secara kimia. Keunggulan dari pengolahan limbah dengan cara biologi yaitu aman, ramah lingkungan, tidak memerlukan biaya yang besar, dan tidak menyebabkan pencemaran limbah lainnya.

Warna azo didasarkan pada ikatan azo ($-N=N-$) yang pada umumnya merupakan senyawa dengan cincin aromatik sehingga membuatnya menjadi rekalsitran terhadap degradasi mikroba (Benkhaya *et al.*, 2020; Chang and Lin, 2000). Bagaimanapun juga pewarna azo harus dihilangkan dari air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Penelitian dekoloresasi pewarna azo menggunakan bakteri telah dilaporkan oleh Liu *et al.* (2016) sedangkan Linde *et al.* (2021) menggunakan bakteri ligninolitik yaitu *Amycolatopsis* sp. dan *Thermomonospora curvata* untuk pengolahan limbah cair. Hasil penelitian Liu *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kemampuan bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* dalam mendekolorisasi zat warna sangat tinggi yakni sebesar 95,7% selama 4 jam pada suhu 35°C sedangkan Pham TVM *et al.* (2022) melaporkan nilai yang lebih tinggi yakni 99,5% pada pH 7, suhu 35°C pada inkubasi 48 jam. Bakteri lignolitik mampu mendekolorisasi zat warna dan pengolahan limbah cair karena memiliki beberapa enzim lignolitik (Mn-P, Li-P, dan lakase).

Selain bakteri, jamur pelapuk putih juga dapat mendegradasi senyawa organik kompleks melalui katalisis dengan enzim ligninolitik ekstraseluler seperti lakase, mangan peroksidase, dan lignin peroksidase (Govarthanan *et al.*, 2017; Grassi *et al.*, 2011). Pengolahan limbah cair kelapa sawit dan limbah cair mengandung logam berat (limbah *tailing*) menggunakan jamur pelapuk putih (JPP) seperti *Pleurotus ostreatus* dan *Omphalina* sp. telah dilakukan oleh Dimawarnita *et al.* (2019). Spesies jamur seperti *Penicillium*, *Pleurotus*, *Genus Candida*, *Aspergillus* dan *Rhizopus* telah diamati dapat mendegradasi pewarna azo yang berbeda (Sen *et al.*, 2016). Jamur pelapuk putih memiliki kemampuan biodegradasi zat warna (dekolorisasi) dan dapat mentransformasi bahan kimia berbahaya yang terkandung dalam limbah cair menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Thirupathi *et al.*, 2021).

Bagaimanapun juga jamur memiliki siklus hidup serta fisiologi yang berbeda dengan bakteri (Wu *et al.*, 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan dekoloresasi dua jenis jamur pelapuk putih (*Omphalina* sp. dan *Pleurotus ostreatus*) dan satu bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* yang akan diaplikasikan menggunakan dua metode dekoloresasi warna secara kontinyu yaitu *Rotary Biological Contactor* (RBC) dan *Batch Biological Contactor* (BBC).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua isolat jamur yakni *Omphalina* sp, dan *Pleurotus ostreatus*, serta satu isolat bakteri ligninolitik yang dapat mendegradasi *methylene blue*, aquades, menir jagung, dedak, serbuk gergaji, kapur pertanian, dan pupuk NPK. Media tumbuh jamur yang digunakan adalah media PDA, F1, F2, dan TKKS cacah ukuran 3-5 cm. Alat yang digunakan adalah biosafety cabinet, autoklaf, oven, spektrofotometer, timbangan analitik, bunsen, dan spatula.

Persiapan Agen Biologi

Persiapan agen biologi untuk jamur berbeda dengan bakteri. Persiapan jamur sebagai agen biologi dilakukan dengan terlebih dahulu meremajakan isolat jamur dengan cara menumbuhkan potongan kultur berukuran sekitar 1 x 1 cm pada media Potato Dextrose Agar (PDA). Seiring dengan pertumbuhan miselium jamur, dilakukan pengamatan pertumbuhan isolat jamur tersebut hingga 2 minggu setelah inokulasi. Selanjutnya inokulum sebanyak 10% dari media PDA kemudian ditanam pada medium F1 steril sebagai kultur starter dan diinkubasi selama 1-2 minggu. Medium F1 mengandung 247,5 g jagung menir dan 2,5 g dedak. Setelah itu, dari media pertumbuhan F1 diinokulasi lagi sebanyak 10% pada media pertumbuhan F2 yang mengandung serbuk gergaji 937,5 g; dedak 44,64 g; kapur pertanian 13,39 g; dan NPK 4,47 g sebagai kultur produksi. Semua komponen media diaduk sampai homogen dan diberi air sampai kadar air 60-70% kemudian dibiarkan semalam dan selanjutnya dimasukkan ke dalam baglog ukuran 1 kg (Dimawarnita *et al.*, 2019).

Dalam penyiapan bakteri sebagai agen biologi dilakukan terlebih dahulu peremajaan menggunakan media padat spesifik bakteri ligninolitik dan diinkubasi selama 2-3 hari. Pada tahap selanjutnya, kultur yang telah diremajakan diinokulasi ke medium bakteri lignolitik cair dan diinkubasi selama 5 hari. Kultur bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* dalam media cair yang telah diinkubasi selanjutnya diinokulasikan ke limbah azo baik pada sistem BBC dan RBC sesuai dosis dalam perlakuan.

Dekolorisasi Zat Warna Tekstil

Zat warna yang digunakan dalam percobaan ini adalah zat warna biru Bordeaux yang umumnya digunakan untuk pewarna tekstil. Percobaan dilakukan dengan menginokulasi agen biologi pada perangkat BBC dan RBC dengan dosis sesuai perlakuan. Selanjutnya dilakukan inkubasi di suhu kamar (27°C) dan dilakukan pengamatan absorbansi hingga inkubasi berakhir yaitu pada saat 2 hari (48 jam) dan selanjutnya dilakukan penghitungan persentase dekolourisasi, dan serapan biosorben.

Dalam perhitungan konsentrasi warna diperlukan kurva standar sebagai pembanding. Nilai dari kurva standar didapatkan dengan mengukur konsentrasi air limbah pewarna 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 dan 200 ppm menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 558 nm yang didapat dengan mencari panjang gelombang optimum pada pewarna *methylene blue* yang digunakan. Persamaan regresi linear yang dihasilkan adalah $y = 0,0119x + 0,2274$ dengan nilai regresi 0,9811. Nilai absorbansi sampel pewarna tekstil yang didapatkan dari pengukuran spektrofotometer dimasukkan ke persamaan regresi linier sebagai nilai y untuk menghasilkan nilai konsentrasi (x).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF). Percobaan dalam penelitian ini adalah jenis mikroba (*Pleurotus ostreatus*, *Omphalina* sp., dan bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue*), konsentrasi mikroba (15%, 30%, dan 45%), dan teknik dekolourisasi (BBC dan RBC). Kontrol positif dalam penelitian ini adalah larutan pewarna tekstil yang diberi 1% (b/v) tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sedangkan kontrol negatif adalah larutan pewarna tekstil tanpa TKKS dan mikroba. Total perlakuan dalam penelitian ini berjumlah 18 perlakuan yang merupakan kombinasi dari tiga jenis mikroba, tiga konsentrasi, dan dua metode dekolourisasi dengan ulangan tiga kali. Data yang diperoleh diuji ANOVA dan uji lanjut beda nyata jujur (uji Tukey).

Perakitan Rotary Biological Contactor (RBC) untuk Proses Dekolorisasi

Perangkat RBC merupakan alat berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 25 cm yang dilengkapi dengan baling-baling yang dapat diputar pada porosnya. Pada bagian baling-baling tersebut, terdapat silinder yang diisi dengan formula 1% TKKS dan kultur agen biologi yakni JPP atau bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* dengan variasi konsentrasi sebanyak 15, 30, 45%. Keranjang berisi formula 1% TKKS dan mikroba bertindak sebagai biosorben. Proses dekolourisasi dilakukan dalam bak berkapasitas 10 L (Gambar 1). Larutan pewarna tekstil dialirkan dengan pompa pada permukaan baling-baling sehingga keranjang berisi

formula kultur JPP akan berputar dengan kecepatan 100 putaran/menit. Larutan pewarna tekstil yaitu biru Bordeaux dimasukkan ke dalam bak dan diatur agar konsentrasi awal 100 mg/L. Analisis absorbansi dekolourisasi pewarna biru diamati pada jam inkubasi ke 0, 1, 3, 6, 22, dan 24 menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 550 nm. Penurunan konsentrasi pewarna dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha_s = (1 - C_s/C_o) \times 100\%$$

α_s = persentase penurunan warna

C_s = konsentrasi warna pada jam ke (mg/L)

C_o = konsentrasi warna pada saat awal (mg/L)

Serapan logam dalam biosorben dihitung dengan rumus:

$$q = V (C_o - C_s)/m$$

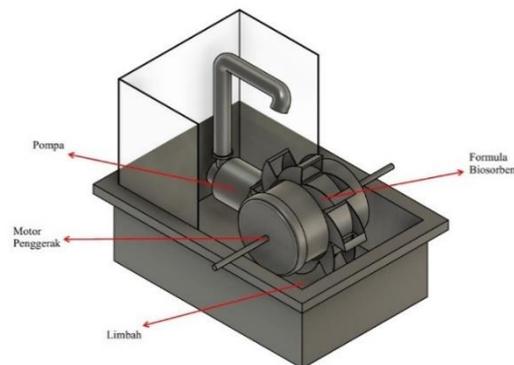
q = serapan warna dalam JPP amobil atau biosorben (mg warna/g biosorben)

V = volume larutan yang diperlakukan (mL)

C_s = konsentrasi warna pada jam ke (mg/L)

C_o = konsentrasi warna pada saat awal (mg/L)

m = berat biosorben kering (mg)

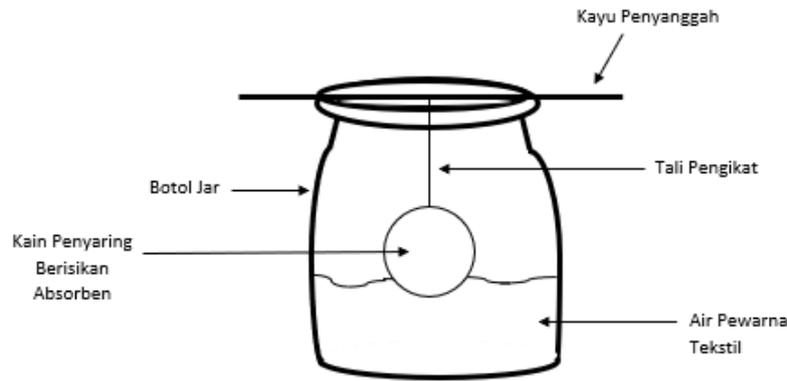


Gambar 1. Perangkat rotary biological contactor (RBC) untuk dekolourisasi pewarna tekstil

Perakitan Batch Biological Contactor (BBC) untuk Proses Dekolorisasi

Teknik BBC merupakan teknik aplikasi biosorben JPP dan bakteri tanpa aerasi. Teknik BBC dilakukan dengan meletakkan biosorben berupa isolat *Omphalina* sp., *Pleurotus ostreatus*, dan TKKS pada kain penyaring dengan ukuran 80 mesh kemudian digantungkan pada kayu penyangga. Sebagian biosorben dibiarkan tercelup pada larutan pewarna, dan sebagian lagi dibiarkan kontak dengan udara (Gambar 2).

Dimensi botol jar yang digunakan berdiameter 9 cm, tinggi 6,5 cm, dan volume 200 mL. Biosorben berisi formula 1% TKKS sebagai kontrol positif dan tanpa TKKS dan mikroba sebagai kontrol negatif. Variasi perlakuan yang dilakukan sama dengan perlakuan pada RBC.



Gambar 2. Perangkat *Batch Biological Contactor* (BBC) untuk dekolorisasi pewarna tekstil

Perhitungan Absorpsi Zat Terlarut

Absorpsi zat terlarut pada padatan sorben dilakukan berdasarkan persamaan isoterm sorpsi menurut Freundlich sebagai berikut:

$$\frac{X_m}{m} = k \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$$\text{Log} \left(\frac{X_m}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (2)$$

makna simbol:

- X_m = serapan warna dalam biosorben (mg/gram sorben)
- m = berat sorben (gram)
- C = konsentrasi zat (mg/liter)
- k = kapasitas serapan maksimum (mg/gram sorben)
- n = konstanta Freundlich

Nilai k dan n adalah konstanta sorpsi yang nilainya bergantung pada jenis sorben dan suhu absorpsi. Bila dibuat kurva $\log (X_m/m)$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung.

Persentase Dekolorisasi

Untuk mendapatkan nilai A_0 , zat warna biru Bordeaux terlebih dahulu dilarutkan dalam aquades (1g/L), kemudian untuk mendapatkan nilai A_t , dilakukan pengambilan sampel dengan metode sampling. Dekolorisasi zat warna biru bordeaux diukur melalui pengamatan (analisis) dengan absorbansi pada panjang gelombang 550 nm. Efisiensi dekolorisasi dapat dihitung melalui persamaan:

$$\% \text{ dekolorisasi} = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100\%$$

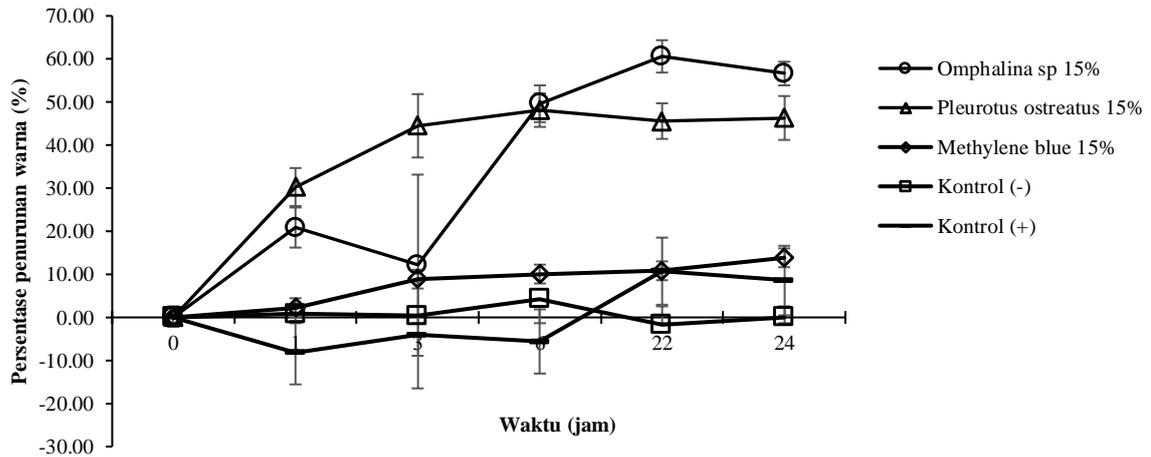
Dimana A_0 adalah absorbansi awal dan A_t = absorbansi pada media terdekolorisasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

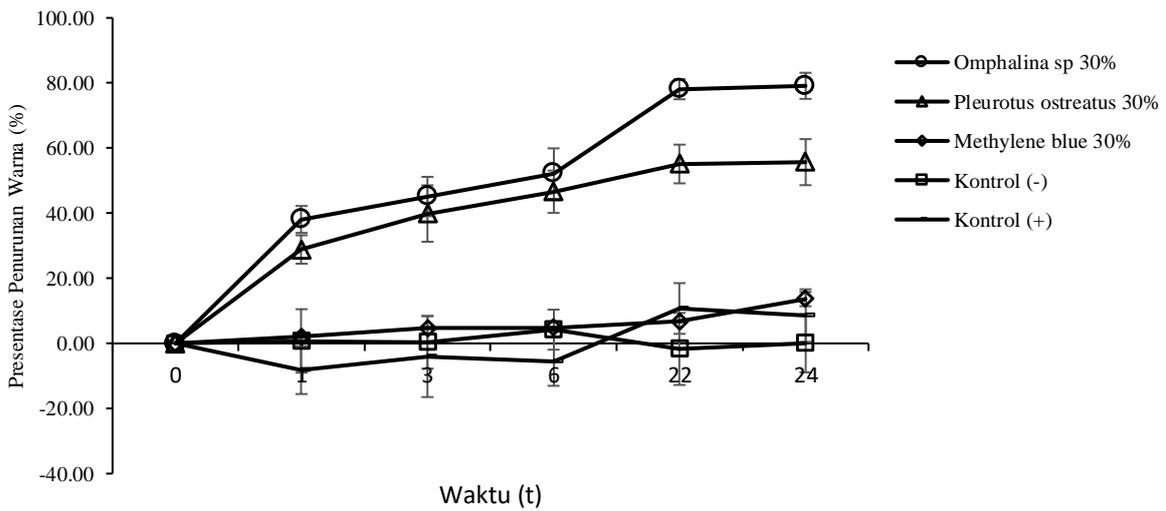
Uji Kemampuan Dekolorisasi

Uji kemampuan dekolorisasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan biosorben (JPP dan bakteri) dalam mendekolorisasi zat warna berdasarkan nilai absorbansi yang diserap. Data absorbansi yang didapatkan menjadi dasar untuk menghitung penurunan konsentrasi warna yang terjadi. Secara umum, perlakuan jenis biosorben dan konsentrasinya dalam dekolorisasi mempengaruhi persentase penurunan zat warna (Gambar 3-Gambar 8). Secara keseluruhan, JPP mempunyai kemampuan menurunkan persentase warna yang lebih baik dibandingkan bakteri yang diujicobakan pada penelitian ini karena JPP memiliki kandungan sistem enzim ligninolitik yang lebih lengkap dan memiliki aktivitas yang lebih kuat (Dimawarnita *et al.*, 2019). *Omphalina* sp memiliki persentase penurunan warna tertinggi pada waktu pengamatan paling akhir (jam ke 24), baik pada teknik RBC maupun BBC, kecuali pada teknik BBC dengan konsentrasi 30% dan 45%. Dekolorisasi zat warna paling tinggi sebesar 79,12% terdapat pada inkubasi 22 jam yang ditunjukkan pada perlakuan *Omphalina* sp. konsentrasi 30% menggunakan metode RBC (Gambar 4).

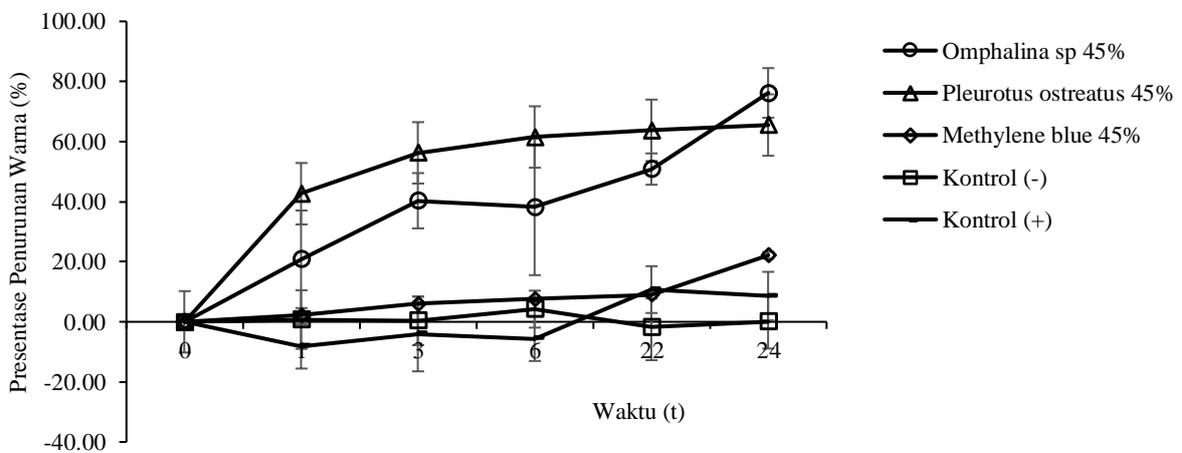
Persentase penurunan warna teknik BBC secara umum lebih rendah dibandingkan dengan RBC. Pada teknik BBC, isolat diaplikasikan dengan cara mengapung di permukaan air sedangkan pada metode RBC isolat diaplikasikan dengan cara diputar oleh dorongan air yang dipompa sehingga tercipta aerasi yang baik. Hal ini disebabkan oleh pengaruh aerasi yang dihasilkan dari teknik RBC. Secara umum, aerasi dapat meningkatkan produksi enzim-enzim ligninolitik pada jamur, walaupun kadar oksigen optimum yang dibutuhkan untuk masing-masing strain jamur berbeda (Lueangjaroenkit *et al.*, 2018). Pada teknik RBC, JPP memiliki persentase penurunan warna yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri *methylen blue*.



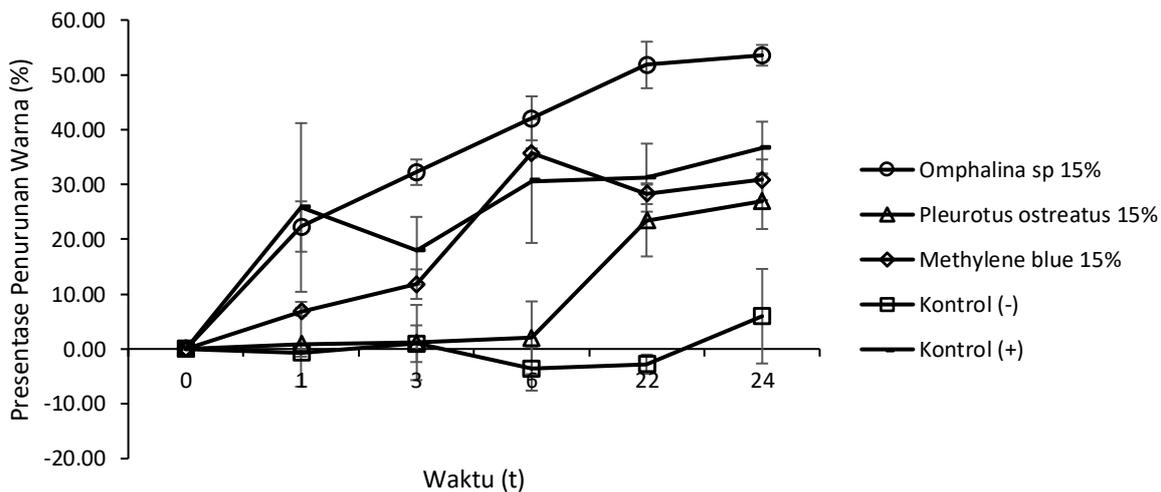
Gambar 3. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode RBC dengan biosorben 15% hingga inkubasi 24 jam



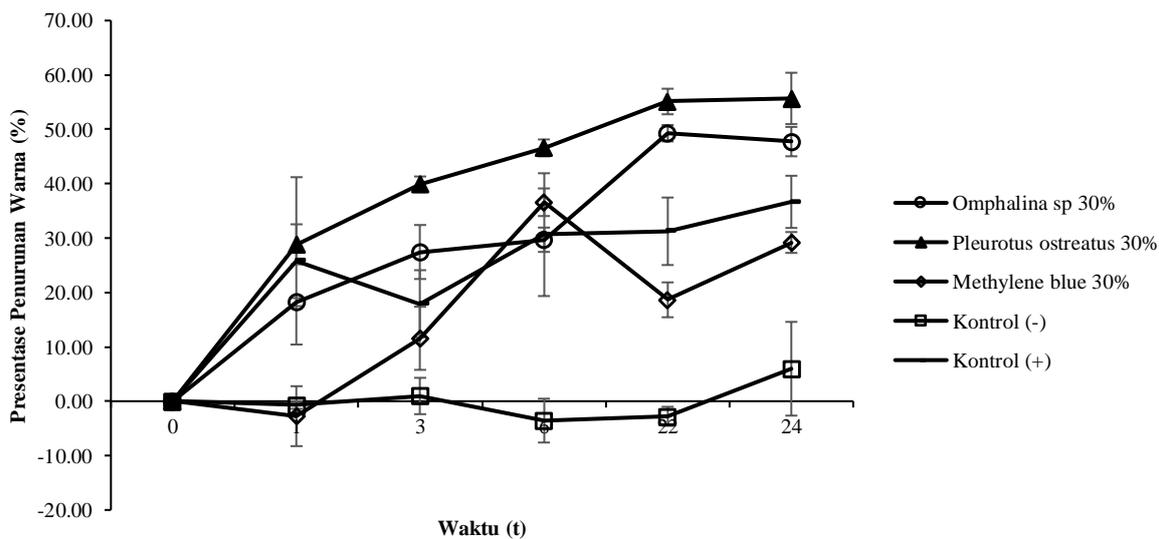
Gambar 4. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode RBC dengan biosorben 30%



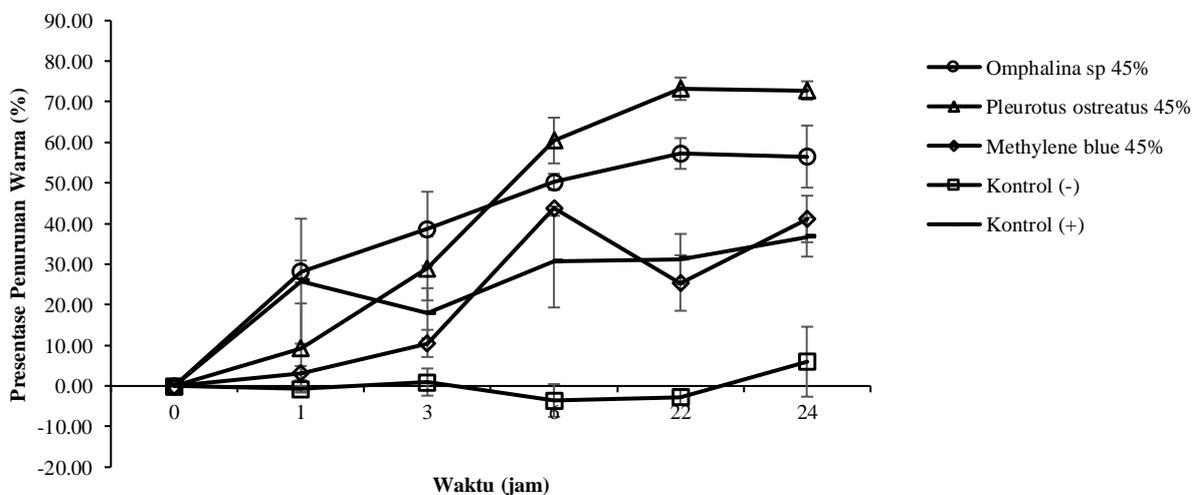
Gambar 5. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode RBC dengan biosorben 45%



Gambar 6. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode BBC dengan biosorben 15%



Gambar 7. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode BBC dengan biosorben 30%



Gambar 8. Dinamika persentase penurunan warna biru Bordeaux pada metode BBC dengan biosorben 45%

Di antara dua JPP yang diujicobakan pada teknik RBC, *Omphalina* sp. memiliki persentase penurunan warna tertinggi dibandingkan dengan *Pleurotus ostreatus*, kecuali pada konsentrasi 45% di mana persentase penurunan warna *P. ostreatus* lebih tinggi pada awal waktu yang diamati. Pada teknik BBC, persentase penurunan tertinggi adalah pada penggunaan *Omphalina* sp pada konsentrasi 15%. Namun demikian, angka penurunan tertinggi ditunjukkan oleh *Pleurotus* sp pada konsentrasi 30%. Kecenderungan ini juga terlihat pada konsentrasi biosorben berikutnya yakni 45%.

Pada penelitian ini, penggunaan bakteri sebagai agen biosorben menghasilkan persentase penurunan yang lebih rendah dibandingkan dengan JPP. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri dan jamur mempunyai dinamika dan kemampuan yang berbeda dalam mendekolorisasi pewarna biru Bordeaux. Fase tumbuh bakteri dan jamur yang digunakan pada penelitian ini kemungkinan memiliki pengaruh yang besar pada persentase penurunan warna. Jamur memiliki siklus pertumbuhan yang lebih lama dibandingkan dengan bakteri. Demikian pula komposisi enzim lignolitik yang dihasilkan. Di lain pihak, bakteri lignolitik pendegradasi *methylene blue* mempunyai fase yang lebih pendek dalam berkembang biak demikian pula mekanisme dalam dekolorisasinya. Eslami *et al.* (2017) mengemukakan bahwa dua mekanisme bakteri pendegradasi *methylene blue* dalam dekolorisasi adalah degradasi dan absorpsi dalam sel yang menyebabkan warna sel menjadi lebih pekat. Hasil ini dikemukakan oleh Eslami *et al.* (2011) dalam penelitiannya menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* untuk mendegradasi *methylene blue* sebesar 97,82% pada konsentrasi *methylene blue* 200 g/L. Bakteri ini menggunakan *methylene blue* sebagai sumber karbon pengganti glukosa.

Penelitian serupa pernah dikerjakan oleh Sen *et al.* (2016) dengan aplikasi biosorben *Aspergillus niger* untuk dekolorisasi zat warna dengan konsentrasi yang sangat bervariasi (50-750 mg/L) dan mampu mendegradasi zat warna kurang dari 10% hingga lebih dari 95%. Nilai penurunan dekolorisasi negatif berarti tidak terdapat penurunan absorbansi pada saat pengukuran. Secara umum, nilai negatif yang terjadi pada kontrol positif dan kontrol negatif dapat diartikan tidak terjadi penurunan absorbansi pada variabel kontrol. Namun, pada metode BBC nilai kontrol positif tidak bernilai negatif sehingga TKKS dapat berfungsi juga sebagai absorben seperti yang dilaporkan oleh Adam (2017) di mana TKKS dapat menurunkan intensitas warna minyak jelantah. Bagaimanapun juga, penambahan biosorben dapat meningkatkan kemampuan TKKS dalam dekolorisasi biru Bordeaux yang ditunjukkan dengan nilai persentase penurunan yang lebih rendah pada kontrol positif (Gambar 6-8)

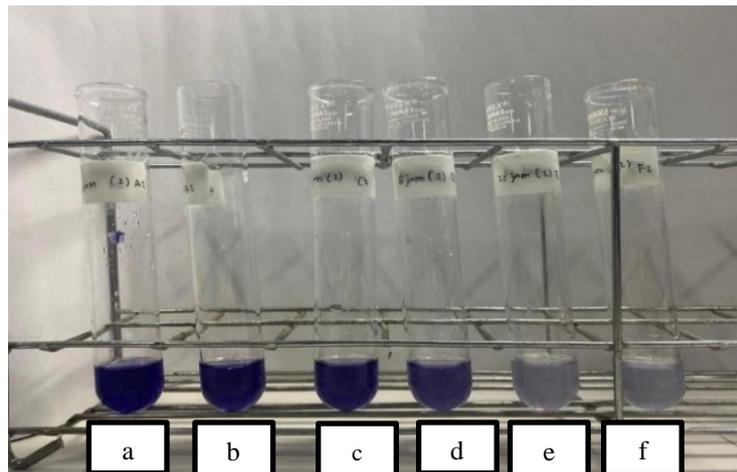
Persentase penurunan tertinggi yang dapat dicapai oleh bakteri lignolitik pendegradasi

methylene blue adalah sebesar 43,82% yang diperoleh pada teknik BBC dengan konsentrasi 45% inkubasi jam ke 6 tetapi selanjutnya menurun. Siklus hidup bakteri yang lebih cepat dan jika substrat hasil perombakan enzim sudah mencapai ambang batas tertentu, mekanisme penghambatan umpan balik akan aktif di mana aktivitas enzim dihambat oleh produk akhir enzim. Mekanisme ini memungkinkan sel untuk mengatur seberapa banyak produk akhir enzim diproduksi sehingga dapat mengurangi laju dekolorisasi seperti yang dilaporkan Vijayaraghavan *et al.* (2013). Liu *et al.* (2016) dalam penelitiannya hanya menginkubasi 4 jam untuk mendekolorisasi zat warna sebesar 95,7% pada suhu 35°C. Walaupun demikian, Pham TVM *et al.* (2022) dalam penelitiannya memerlukan waktu lebih lama yakni 48 jam untuk dekolorisasi sebesar 99,5% pada konsentrasi bakteri 1,5% dengan kondisi statis. Perbedaan strain bakteri dan metode serta kondisi diduga menjadi beberapa faktor yang mempengaruhi dekolorisasi. Dalam penelitian ini, pada proses dekolorisasi menggunakan metode RBC, terjadi pembentukan buih yang lebih banyak dengan semakin meningkatnya dosis absorben sehingga mengganggu pergerakan rotary. Dari hasil ini diperlukan optimasi kecepatan rotary.

Dalam penelitian Ameen *et al.* (2021), diketahui tiga spesies jamur yaitu, *A. niger*, *A. flavus*, dan *A. Terreus*, memiliki suhu optimal dekolorisasi zat warna pada suhu 30°C. Beberapa literatur menyebutkan lebih banyak aplikasi jamur untuk dekolorisasi zat warna daripada bakteri (Ameen dan Alshehrei, 2017; Esmaili dan Kalantari, 2012; Ning *et al.*, 2018). Selain itu, jamur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jamur yang termasuk golongan jamur pelapuk putih yang sudah diketahui secara luas merupakan produser enzim lignolitik terbaik (Niladevi, 2009) sehingga dapat mendegradasi ikatan azo (-N=N-) secara optimal yang berujung kepada penurunan persentase warna yang lebih tinggi. Selain itu, salah satu enzim lignolitik yaitu lignin peroxidase merupakan enzim kunci yang berperan dalam dekolorisasi *methylene blue* (Mary *et al.*, 2020) dan kedua JPP yang digunakan dalam penelitian ini dikonfirmasi memiliki enzim lignin peroksidase (Dimawarnita *et al.*, 2019).

Visualisasi Dekolorisasi Zat Warna Tekstil

Pada penelitian ini, diketahui bahwa *Omphalina* sp. menghasilkan persentase penurunan warna yang paling tinggi (sebesar 79,12%) pada teknik RBC dengan konsentrasi 30% sehingga dilakukan kajian lebih lanjut menggunakan perlakuan tersebut. Gambar 9 menunjukkan kemampuan *Omphalina* sp dalam mendekolorisasi zat warna biru Bordeaux pada metode RBC dengan konsentrasi 30% yang dapat terlihat langsung secara visual bahwa terdapat perbedaan kepekatan seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi.



Gambar 9. Perubahan warna biru Bordeaux dengan perlakuan *Omphalina sp* 30% menggunakan metode RBC selama: (a) 0 jam; (b) 1 jam; (c) 3 jam; (d) 6 jam; (e) 22 jam; (f) 24 jam

Tabel 1. Hasil perhitungan isoterm absorpsi freundlich

Biosorben	Regresi	Persamaan Linear	q max (ppm)	Konstanta Freundlich
<i>Omphalina sp</i> 30% rotary biological contactor	0,9718	$y = -1,5692x + 0,2495$	3,30	0,61

Secara umum, JPP dikenal toleran dan mampu tumbuh pada suhu, keasaman, dan jenis sumber karbon yang variatif (Li *et al.*, 2018; Rinu dan Pandey, 2010). Degradasi pewarna azo menggunakan *Aspergillus sp.* menghasilkan metabolit antara, yaitu anilin, 3-nitroanilin (AB29), 4-nitroanilin, N, N' dietil-1,4-fenilendiamine (DR1), dan benzidin (CR), yang semuanya merupakan senyawa toksik (Chung, 2016). Jamur pelapuk putih *Ceriporia lacerata* mengubah pewarna *congo red* menjadi benzidine dan naphthylamine (Wang *et al.*, 2017).

Perhitungan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan menggunakan metode RAL Faktorial pada selang kepercayaan 95% dilakukan pada aplikasi minitab. Hasil uji beda nyata menunjukkan bahwa teknik dekolourisasi menghasilkan p value 0,139 sedangkan jenis biosorben menghasilkan p value 0 yang berarti perlakuan yang memiliki pengaruh nyata adalah jenis biosorben (jamur dan bakteri) sedangkan teknik dekolourisasi (RBC dan BBC) tidak memiliki pengaruh nyata. Uji lanjut menggunakan Beda Nyata Jujur menunjukkan bahwa kemampuan dekolourisasi biosorben bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* berbeda nyata dibandingkan dengan jamur. Sedangkan kemampuan dekolourisasi jamur *Omphalina sp.* tidak begitu signifikan dibandingkan dengan jamur *Pleurotus ostreatus*.

Uji Kemampuan Serapan Berdasarkan Persamaan Freundlich dan Langmuir

Perlakuan *Omphalina sp.* pada teknik RBC dengan konsentrasi 30% kemudian dianalisis

serapannya berdasarkan persamaan Freundlich dan Langmuir. Fungsi persamaan *Freundlich* untuk menghitung serapan maksimum dari biosorben (q_{max}). Perhitungan serapan maksimum penting dilakukan dikarenakan perbedaan kemampuan penyerapan yang dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi sampel dan biomassa atau jumlah biosorben. Persamaan *Freundlich* didapatkan dari plot grafik antara Log q vs Log Cs dengan keterangan q merupakan serapan dalam biosorben dan Cs yaitu konsentrasi akhir. Persamaan linear yang diperoleh adalah $y = -1,5692x + 0,2495$ dengan nilai regresi = 0,9718.

Persamaan Langmuir memiliki fungsi yang sama dengan persamaan Freundlich yaitu untuk menghitung serapan maksimum (q_{max}). Persamaan Langmuir didapatkan dengan plot grafik antara $1/q$ vs $1/C_s$. Persamaan linear yang diperoleh yaitu $y = -8,3325x + 6,1009$ dengan nilai regresi = 0,8952.

Nilai regresi persamaan Freundlich lebih besar dibandingkan persamaan Langmuir. Hal ini menyebabkan sifat absorpsi mengikuti persamaan Freundlich dimana penyerapan terjadi secara lebih dari satu lapisan atau *multi-layer* (Lisa, 2015). Lain halnya dengan persamaan Freundlich, persamaan Langmuir menunjukkan proses penyerapan yang terjadi secara satu lapisan atau *monolayer* (Dimawarnita, 2017). Nilai serapan tertinggi terdapat pada biosorben *Omphalina sp.* 30% dengan metode RBC sebesar 3,30 ppm. Hal ini berarti kemampuan biosorben dalam menyerap pewarna tekstil biru Bordeaux memiliki kapasitas maksimal senilai besaran q max (Tabel 1).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dekolorisasi pewarna tekstil biru Bordeaux tertinggi ditunjukkan pada penggunaan biosorben *Omphalina* sp. pada konsentrasi 30% menggunakan metode RBC yang menghasilkan persentase penurunan warna biru Bordeaux sebesar 79,12%. Biosorben *Pleurotus ostreatus* dan bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* pada konsentrasi 45% menggunakan metode *batch* menghasilkan penurunan tertinggi masing-masing secara berurutan adalah 72,79% dan 43,82%. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan dan metode yang paling efektif adalah perlakuan jamur *Omphalina* sp dengan konsentrasi 30% menggunakan metode RBC.

Saran

JPP dan bakteri ligninolitik pendegradasi *methylene blue* dalam penelitian ini masih diaplikasikan secara individu. Perlu dilihat potensinya jika mereka diaplikasikan secara bersama-sama dalam bentuk konsorsium mikroba.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam DH. 2017. Kemampuan tandan kosong kelapa sawit sebagai adsorben untuk meregenerasi minyak jelantah. *Jurnal Eduscience*. 4 (1): 8-11.
- Ameen F dan Alshehrei F. 2017. Biodegradation optimization and metabolite elucidation of Reactive Red 120 by four different *Aspergillus* species isolated from soil contaminated with industrial effluent. *Annals of microbiology*. 67 (4): 303-312.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2018-2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Benkhaya S, M'rabet S, El Harfi A. 2020. Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*. 6 (1): e03271.
- Chang JS dan Lin YC. 2000. Fed-batch bioreactor strategies for microbial decolorization of azo dye using a *Pseudomonasluteola* strain. *Biotechnology Progress*. 16 (6): 979-985.
- Chaudhari NK, Jin H, Kim B, Lee K. 2017. Nanostructured materials on 3D nickel foam as electrocatalysts for water splitting. *Nanoscale*. 9 (34): 12231-12247.
- Chung KT. 2016. Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*. 34 (4): 233-261.
- Dimawarnita F dan Tri-Panji. 2019. Aktivitas enzim ligninolitik *Pleurotus ostreatus* pada media yang mengandung TKKS dan aplikasinya untuk dekolourisasi zat warna. *E-Journal Menara Perkebunan*. 87 (1): 31-40.
- Dimawarnita F, Richana N, Tri-Panji, Suharyanto, Zainudin, A. 2015. Biosorpsi ion tembaga dalam limbah *tailing* menggunakan jamur pelapuk putih amobil. *E-Journal Menara Perkebunan*. 83(1): 27-36.
- Donkadokula NY, Kola AK, Naz I, Saroj D. 2020. A review on advanced physico-chemical and biological textile dye wastewater treatment techniques. *Reviews in environmental science and biotechnology*. 19(3): 543-560.
- Dos Santos AB, Cervantes FJ, Van Lier JB. 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource technology*. 98 (12): 2369-2385.
- Eslami H, Khavidak SS, Salehi F, Khosravi R, Fallahzadeh R, Peirovi R, Sadegh S. 2017. Biodegradation of methylene blue from aqueous solution by bacteria isolated from contaminated soil. *Journal Adv. Environ Heath Res*. 5: 10-15
- Esmaeili A dan Kalantari M. 2012. Bioremoval of an azo textile dye, Reactive Red 198, by *Aspergillus flavus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 28 (3): 1125-1131.
- Esmaeili A dan Kalantari M. 2016. Bioremoval of an azo textile dye, Reactive Red 198, by *Rhizopus oryzae*. *Desalination and Water Treatment*. 57 (14): 6401-6410.
- Govarthanan M, Fuzisawa S, Hosogai T, Chang YC. 2017. Biodegradation of aliphatic and aromatic hydrocarbons using the filamentous fungus *Penicillium* sp. CHY-2 and characterization of its manganese peroxidase activity. *RSC advances*. 7(34): 20716-20723.
- Grassi E, Scodeller P, Filieil N, Carballo R, Levin L. 2011. Potential of *Trametes trogii* culture fluids and its purified laccase for the decolorization of different types of recalcitrant dyes without the addition of redox mediators. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 65(4): 635-643.
- Haryono, Ernawati EE, dan Noviyanti AR. 2021. Kinerja metode elektroflotasi pada pengolahan air limbah pewarna tekstil disperse. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. 05(2): 105-115.
- Li Q, Feng XL, Li TT, Lu XR, Liu QY, Han X, Xiao X. 2018. Anaerobic decolorization and detoxification of cationic red X-GRL by *Shewanella oneidensis* MR-1. *Environmental Technology*. 39(18): 2382-2389.

- Linde D, Ayuso-Fernández I, Laloux M, Aguiar-Cervera JE, de Lacey AL, Ruiz-Dueñas FJ, Martínez AT. 2021. Comparing ligninolytic capabilities of bacterial and fungal dye-decolorizing peroxidases and class-II peroxidase-catalases. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(5): 2629.
- Liu W, Liu L, Liu C, Hao Y, Yang H, Yuan B, Jiang J. 2016. Methylene blue enhances the anaerobic decolorization and detoxication of azo dye by *Shewanella onediensis* MR-1. *Biochemical Engineering Journal*. 110: 115-124.
- Lueangjaroenkit P, Teerapatsakul C, Chitradon L. 2018. Morphological characteristic regulation of ligninolytic enzyme produced by *Trametes polyzona*. *Mycobiology*. 46(4): 396-406.
- Mary JE, Krithika T, dan Kavitha R. 2020. Biodegradation of textile dye by ligninolytic bacteria isolated from Western Ghats. *Internatiomal Journal Res Rev*. 7 (4): 22-29.
- Meyer U. 1981. Biodegradation of synthetic organic colorants. In *FEMS Symposium 12* (pp. 371-385). Academic Press.
- Niladevi K. 2009. Ligninolytic Enzymes. Di dalam Singh nee' NP dan Pandey A (ed.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*. Dordrecht: Springer. P7-22
- Ning C, Qingyun L, Aixing T, Wei S, Youyan L. 2018. Decolorization of a variety of dyes by *Aspergillus flavus* A5p1. *Bioprocess and biosystems engineering*. 41(4): 511-518.
- Rinu K dan Pandey A. 2010. Temperature-dependent phosphate solubilization by cold-and pH-tolerant species of *Aspergillus* isolated from Himalayan soil. *Mycoscience*. 51 (4): 263-271.
- Selvankumar T, Sudhakar C, dan Govarthanan M. 2019. Microbial removal of dye stuffs. *Microbial Biodegradation of Xenobiotic Compounds*. 95: 95-110.
- Sen SK, Raut S, Bandyopadhyay P, dan Raut S. 2016. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. *Fungal Biology Reviews*. 30(3): 112-133.
- Thiruppathi K, Rangasamy K, Ramasamy M, Muthu D. 2021. Evaluation of textile dye degrading potential of ligninolytic bacterial consortia. *Environmental Challenges*. 4: 1-9.
- Vijayaraghavan J, Basha SS, dan Jegan J. 2013. A review on efficacious methods to decolorize reactive azo dye. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 7(1): 30-47.
- Wang N, Chu Y, Zhao Z, Xu X. 2017. Decolorization and degradation of Congo red by a newly isolated white rot fungus, *Ceriporia lacerata*, from decayed mulberry branches. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 117: 236-244.
- Wu K, Shi M, Pan X, Zhang J, Zhang X, Shen T, Tian Y. 2022. Decolourization and biodegradation of methylene blue dye by a ligninolytic enzyme-producing *Bacillus thuringiensis*: Degradation products and pathway. *Enzyme and Microbial Technology*. 156: 109-119.
- Pham VHT, Kim J, Chang S, Chung W. 2022. Biodegradation of methylene blue using a novel lignin peroxidase enzyme producing bacteria, named *Bacillus* sp. react3, as a promising candidate for dye-contaminated wastewater treatment. *Fermentation*. 8: 19