



Dekolorisasi Limbah Batik Pekalongan Menggunakan *Aspergillus* sp.3 Terimobilisasi Luffa pada Waktu Inkubasi dan Inokulum Berbeda

Decolorization of Batik Pekalongan Wastewater Using *Aspergillus* sp.3 Immobilized Luffa at Different Incubation Time and Inoculum

HALIMATUS SA'DIYAH¹, RATNA STIA DEWI^{1,2*}, MOCH. HUSEIN SASTRANEGARA¹

¹Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. Jl. dr. Soeparno 63, Grendeng, Purwokerto 53122, Banyumas, JawaTengah, Indonesia

²Pusat Penelitian Biodiversitas dan Maritim, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto 53122, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

*ratnadewi0509@unsoed.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 05 February 2024

Accepted 20 May 2024

Published 31 July 2024

Keywords:

Aspergillus sp.3

Decolorization

Immobilization

Batik waste

Luffa cylindrica

ABSTRACT

The batik industry in Pekalongan benefits the economy but harms the environment when untreated batik waste is discharged into rivers. The fungus *Aspergillus* sp. can degrade batik wastewater as an absorbent using its mycelium. Immobilizing mycelium with substrates such as loofah or oyong (*Luffa cylindrical*) is a practical method for waste degradation. These substrates offer unique tubular fiber structures, affordability, easy availability, environmental friendliness, high stability, and rapid adsorption ability. This study aimed to determine the decolorization of Pekalongan batik dye wastewater using *Aspergillus* sp. immobilized on Luffa at different incubation times and types of inoculums. This research will provide scientific information about the ability of *Aspergillus* sp. immobilized on Luffa to batik waste, particularly in the Pekalongan batik industry. The initial research used a dry immobilization model to study the spore and mycelium inoculum. The spore inoculum type was found to decolorize batik wastewater by 75%, which was better than the mycelium inoculum type, which achieved 37.5% decolorization. The research showed that *Aspergillus* sp. immobilized on Luffa without a drying process could decolorize Pekalongan batik wastewater. The most optimal decolorization results were obtained with spore inoculum treatment at an incubation time of 72 hours, achieving 99.7% decolorization. This research is supported by measurements of the dry weight of *Aspergillus* sp. immobilized on Luffa, pH value, DO content, TSS content, TDS content, and temperature, with respective values of 2.294-4.416 g; 5-7.14; 12-16 mg/l; 70-148 mg/l; 2013.2-3761 mg/l; and 29-31°C.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 05 Februari 2024

Disetujui 20 Mei 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Aspergillus sp.3

Dekolorisasi

Imobilisasi

Limbah batik

Luffa cylindrical

ABSTRAK

Industri batik di Pekalongan menguntungkan secara ekonomi bagi masyarakat, namun berdampak negatif bagi lingkungan ketika limbah batik tidak diolah dan langsung dibuang ke sungai, sehingga menyebabkan polusi. Jamur *Aspergillus* sp. dapat digunakan untuk mendegradasi air limbah batik karena menghasilkan enzim, dan secara non enzimatis sebagai penyerap dengan menggunakan miselium. Mengimobilisasi miselium dengan substrat, seperti buah gambas atau oyong (*Luffa cylindrical*), dapat menjadi metode praktis untuk degradasi limbah. Substrat ini memiliki keunggulan seperti struktur serat berbentuk tabung yang unik, harga yang terjangkau, mudah didapat, ramah lingkungan, stabilitas yang tinggi, dan kemampuan adsorpsi yang cepat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dekolourisasi air limbah pewarna batik Pekalongan menggunakan *Aspergillus* sp. yang terimobilisasi pada Luffa pada waktu inkubasi dan jenis inokulum yang berbeda. Manfaat penelitian ini untuk memberikan informasi ilmiah mengenai kemampuan jamur *Aspergillus* sp. terimobilisasi Luffa dalam mendekolorisasi limbah batik, khususnya industri batik di Pekalongan. Pada penelitian awal, jenis inokulum spora dan miselium dikaji dengan menggunakan model imobilisasi kering. Jenis inokulum spora ditemukan dapat mendekolorisasi air limbah batik sebesar 75%, yang lebih baik daripada jenis inokulum miselium yang mencapai 37,5% dekolourisasi. Hasil penelitian berupa perlakuan *Aspergillus* sp. terimobilisasi Luffa tanpa proses pengeringan yang diujicobakan dapat mendekolorisasi air limbah batik Pekalongan. Hasil dekolourisasi yang paling optimal diperoleh pada perlakuan inokulum spora dengan waktu inkubasi 72 jam, yaitu sebesar 99,7%. Penelitian ini didukung oleh pengukuran berat kering *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi Luffa, nilai pH, kadar DO, kadar TSS, kadar TDS, dan nilai temperatur berturut-turut sebesar 2,294-4,416 g; 5-7,14; 12-16 mg/l; 70-148 mg/l; 2013,2-3761mg/l; dan 29-31°C.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri batik di Pekalongan memberikan keuntungan bagi perekonomian masyarakat. Namun, kemajuan industri batik tersebut juga berdampak negatif bagi lingkungan karena industri batik kecil yang membuang limbah hasil proses membatiknya yang belum terolah langsung ke sungai. Pengolahan limbah yang tidak baik dapat menyebabkan pencemaran, seperti zat warna terbawa ke sungai sehingga air sungai tampak berwarna pekat, berbau menyengat, memiliki suhu yang tinggi, serta memiliki derajat keasaman (pH), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Dissolved Solid* (TDS), *Total Suspended Solid* (TSS), dan temperatur yang tinggi (Kurniawan et al., 2013). Proses pewarnaan dalam produksi batik melepaskan sejumlah besar polutan yang sangat tahan terhadap degradasi alami dan membahayakan lingkungan (Novianti & Tuhi, 2014). Hilangnya zat pewarna dalam limbah sangatlah penting, karena tingginya potensi pencemaran dan toksisitasnya. Degradasi limbah pewarna tekstil diawali dengan perubahan struktur kimia warna melalui penurunan intensitas warna atau dekolourisasi (Martani et al., 2011).

Jamur merupakan organisme yang sangat efisien dalam mendekolorisasi dan mendegradasi limbah tekstil. Jamur dapat menghasilkan berbagai enzim, seperti *laccase*, *lignin peroxidase*, dan *manganese peroxidase*. Enzim tersebut berpotensi dalam bioremediasi zat xenobiotik yang terdapat dalam pewarna batik (Yesilada et al., 2018). Secara non-enzimatik, jamur dapat menyerap pewarna melalui dinding selnya. Proses penyerapan ini menyebabkan miselium berubah warna sesuai dengan warna limbah yang diserap (Lailiyah, 2021). Jenis jamur yang mampu mendekolorisasi limbah pewarna salah satunya adalah *Aspergillus* sp. Berdasarkan penelitian Dewi et al. (2018), *Aspergillus* sp.3 merupakan isolat terbaik hasil seleksi yang memiliki kemampuan dalam mengurai limbah pewarna batik dengan persentase dekolourisasi sebesar 99,89% pada suhu ruang setelah 3 hari inkubasi. Dekolourisasi oleh *Aspergillus* sp.3 dilakukan oleh miselium yang menyerap pewarna batik.

Efektivitas jamur dalam mendegradasi zat pewarna bergantung pada waktu kontak antara miselium jamur dan pewarna. Waktu degradasi yang semakin lama, mengakibatkan persentase degradasi zat warna oleh jamur yang semakin meningkat pula (Amiruddin et al., 2018). Faktor lain yang memengaruhi degradasi zat warna, yaitu jenis inokulum. Inokulum merupakan sediaan jamur yang dibiakkan pada suatu media. Inokulum dapat berupa spora, sklerotium, atau miselium. Menurut Ardiati et al. (2019), imobilisasi jamur dengan metode inokulasi miselium yang dihomogenkan dapat mendekolorisasi limbah sebesar 88% selama 4 jam. Berdasarkan penelitian Laraib et al. (2020), imobilisasi dengan metode inokulasi spora dapat mendegradasi pewarna sebesar 97% selama 24 jam inkubasi.

Pemanfaatan jamur untuk degradasi limbah dapat dilakukan dengan menggunakan teknik imobilisasi biomassa. Imobilisasi biomassa dapat meningkatkan kekuatan partikel, kepadatan, porositas, dan ketahanan kimiawi biomassa (Przystas et al., 2018). Berdasarkan media yang digunakan,

imobilisasi dapat dilakukan pada media sintetis dan media alami. Imobilisasi pada media alami dapat menggunakan bahan seperti limbah industri agro, sedangkan imobilisasi pada media sintetis dapat menggunakan *polyurethane foam* dan spons *stainless steel* (Prasad et al., 2005). Metode imobilisasi juga memiliki tujuan agar jamur dapat digunakan kembali untuk mendegradasi limbah (Loyarkat et al., 2015). Berdasarkan penelitian Chempaka et al. (2022), jamur *Trametes hirsuta* EDN 082 yang diimobilisasikan pada hidrotan dapat digunakan secara berulang kali sampai 17 siklus dengan efektivitas dekolourisasi di atas 80%. Imobilisasi jamur juga dapat menggunakan spons alami, seperti serat kering oyong (*Luffa cylindrica*) atau gambas atau biasa disebut sebagai *Luffa*. Menurut Anastopoulos & Pashalidis (2020), *Luffa* merupakan spons alami dari tanaman subtropik yang termasuk dalam famili *Cucurbitaceae*, yang berasal dari India dan telah beradaptasi di Asia Tenggara, salah satunya Indonesia. *Luffa* memiliki sejumlah keunggulan, seperti struktur tubular berserat yang unik, biaya rendah, ramah lingkungan, tidak berbahaya, mudah diperoleh, stabilitas tinggi, luas permukaan besar, dan kemampuan adsorpsi yang cepat. Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, kemampuan jamur *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* dalam dekolourisasi limbah pewarna batik asal Pekalongan menarik untuk dikaji.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serta perlakuan waktu inkubasi dan inokulum terbaik dari *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* dalam mendekolorisasi pada limbah batik Pekalongan. Selanjutnya, manfaat yang diharapkan dari penelitian adalah untuk memberikan informasi ilmiah mengenai kemampuan jamur *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* dalam mendekolorisasi limbah batik khususnya industri batik di Pekalongan.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat-alat berupa *beaker glass*, labu Erlenmeyer, *magnetic stirrer*, *hot plate stirrer*, *autoclave*, *Laminar Air Flow* (LAF), mikroskop, cawan Petri, *blender*, pH meter, timbangan analitik, *incubator shaker*, oven, filter, desikator, gelas ukur, lampu spiritus, termometer, TDS meter, *spektrofotometer*, PC/Laptop, *software* Arduino UNO, DO meter, dan pinset. Penelitian ini menggunakan bahan-bahan berupa isolat jamur *Aspergillus* sp.3 hasil isolasi dari limbah batik (Dewi et al., 2018), limbah batik pewarna Naftol yang diperoleh dari industri batik skala rumahan di Kelurahan Krapyak, Pekalongan, serat kering buah gambas atau oyong atau *Luffa* (*Luffa cylindrical*), media *Potato Dextrose Agar* (PDA), media *Potato Dextrose Broth* (PDB), akudes, kapas, karet, plastik *wrap*, label, dan kertas Whatman no. 41.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikologi Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman dan UPTD Laboratorium Kesehatan Kabupaten Purbalingga pada bulan Januari 2022-Januari 2023. Pelaksanaan dan metode penelitian dimulai dengan persiapan inokulum jamur *Aspergillus* sp.3

pada medium PDA, kemudian dilakukan imobilisasi pada *Luffa* menggunakan inokulum miselium dan spora, selanjutnya diinkubasi selama 15 hari pada medium cair PDB dalam labu Erlenmeyer berukuran 1000 ml. Setelah itu, dilakukan perlakuan waktu inkubasi berbeda untuk parameter uji kemampuan dekolorisasi limbah pewarna batik dengan menggunakan *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* sebagai berikut:

- AI1 = Inkubasi 24 jam + *Luffa* yang tidak diberi jamur.
 - AI2 = Inkubasi 72 jam + *Luffa* yang tidak diberi jamur.
 - BI1 = Inkubasi 24 jam + *Luffa* dengan inokulum spora.
 - BI2 = Inkubasi 72 jam + *Luffa* dengan inokulum spora.
 - CI1 = Inkubasi 24 jam + *Luffa* dengan inokulum miselium
 - CI2 = Inkubasi 72 jam + *Luffa* dengan inokulum miselium
- Setiap perlakuan diulang sebanyak lima kali.

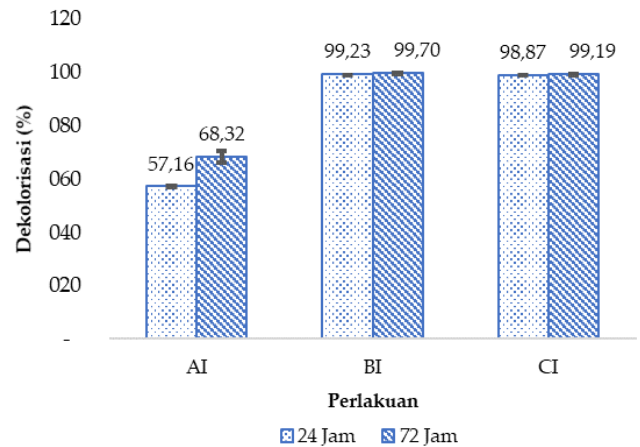
Pengukuran absorbansi pada limbah pewarna batik yang telah didekolorisasi menggunakan *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* dilakukan dengan alat spektrofotometri UV-VIS. Sampel limbah yang telah terdekolorisasi diambil sebanyak 300 µl menggunakan pipet, kemudian sampel dimasukkan ke dalam *microplate reader* pada Panjang gelombang maksimum 560 nm yang telah diukur sebelumnya. Perhitungan persentase dekolorisasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%Dekolorisasi = \frac{absorbansi\ awal - absorbansi\ ke\ i}{Absorbansi\ awal} \times 100\% \dots\dots(1)$$

Setelah dilakukan pengukuran untuk uji kemampuan dekolorisasi, kemudian dilanjutkan pengukuran berat kering pada *Aspergillus* sp.3 yang terimobilisasi *Luffa* yang telah digunakan, serta pengukuran pH, DO, TSS, TDS, dan suhu pada limbah yang telah terdekolorisasi. Data hasil pengukuran persentase dekolorisasi dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) atau uji Tukey.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

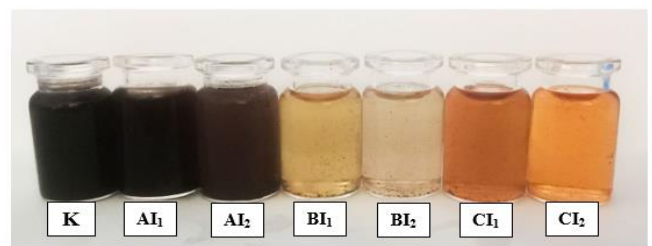
Hasil rata-rata perhitungan persentase dekolorisasi pada limbah pewarna batik menggunakan jamur *Aspergillus* sp.3 yang telah terimobilisasi pada *Luffa* dengan variasi inokulum berupa spora dan miselium, serta diinkubasi selama 24 jam dan 72 jam sehingga diperoleh data rata-rata dekolorisasi sebesar 57,16-99,70% (Gambar 1). Persentase dekolorisasi pada limbah pewarna batik Pekalongan setelah diolah menggunakan *Aspergillus* sp.3 yang terimobilisasi *Luffa* dengan inokulum spora dan miselium serta diinkubasi pada waktu 24 jam dan 72 jam, diperoleh persentase dekolorisasi tertinggi sebesar 99,7% dan terendah sebesar 57,16%. Hasil riset ini memiliki nilai persentase lebih tinggi dibanding dengan penelitian yang telah ada. Menurut Dewi et al. (2016), *Aspergillus niger* sangat efektif dalam menurunkan warna limbah batik sebesar 98,92% dengan waktu inkubasi 72 jam. Hal tersebut juga diperkuat oleh Dewi et al. (2019), bahwa limbah batik pewarna Indigosol Blue dapat didekolorisasi oleh *Aspergillus* sp.3 sebesar 95,32%.



Gambar 1. Histogram rata-rata persentase dekolorisasi limbah batik Pekalongan.

Keterangan: (AI) *Luffa* yang tidak diberi jamur; (BI) *Luffa* dengan inokulum spora; (CI) *Luffa* dengan inokulum miselium

Perbedaan waktu inkubasi dapat meningkatkan proses dekolorisasi yang dilakukan oleh *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa*. Menurut Dewi et al. (2020), waktu inkubasi berpengaruh pada degradasi limbah pewarna karena dapat memengaruhi durasi waktu kontak antara jamur dengan pewarna. Semakin lama waktu inkubasi, absorpsi limbah pewarna akan semakin baik (Gambar 2). Hal ini terjadi karena waktu kontak bahan penyerap berupa jamur dengan limbah pewarna semakin lama, sehingga kesempatan untuk mengabsorpsi limbah pewarna semakin besar. Menurut Wulandari et al. (2014), menyatakan bahwa peningkatan persentase dekolorisasi akan menurun ketika kemampuan jamur dalam adsorpsi limbah batik mencapai titik jenuh penyerapan.



Gambar 2. Limbah batik Pekalongan setelah terdegradasi.

Keterangan: (K) kontrol; (AI1) *Luffa* yang tidak diberi jamur dengan waktu inkubasi 24 jam; (AI2) *Luffa* yang tidak diberi jamur dengan waktu inkubasi 72 jam; (BI1) *Luffa* dengan inokulum spora dengan waktu inkubasi 24 jam; (BI2) *Luffa* dengan inokulum spora dengan waktu inkubasi 72 jam; (CI1) *Luffa* dengan inokulum miselium dengan waktu inkubasi 24 jam; (CI2) *Luffa* dengan inokulum miselium dengan waktu inkubasi 72 jam.

Pemberian *Aspergillus* sp.3 yang diimobilisasikan pada *Luffa* dengan inokulum dan variasi waktu inkubasi pada limbah batik memberikan pengaruh terhadap persentase dekolorisasi. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Dewi et al. (2020) mengenai *Aspergillus* sp. terimobilisasi *alginate* pada waktu inkubasi berbeda (48, 72, dan 96 jam) dapat mendekolorisasi limbah pewarna indigosol blue sebesar 37,2%; 65,2%; dan 43,8%. Wan et al. (2016) menyatakan bahwa

biomassa perlu diimobilisasi untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap berbagai zat kimia, serta dapat meningkatkan kemampuan biomassa dalam melakukan proses adsorpsi. Kemampuan *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa* tertinggi pada perlakuan inokulum spora dan waktu inkubasi 72 jam dengan persentase dekolorisasi sebesar 99,7%. Hasil ini sejalan dengan penelitian Dewi *et al.* (2020) bahwa imobilisasi biomassa jamur *Aspergillus* sp. dengan inokulum spora mampu mendekolorisasi limbah batik sebesar 67,1% dengan waktu inkubasi 48 jam.

Menurut Dewi *et al.* (2019) dan Pepler (1967), kualitas inokulum yang diberikan akan memengaruhi lama proses fermentasi dan rendahnya produktivitas. Brundrett *et al.* (2005) menyatakan bahwa penggunaan metode inokulasi dengan miselium yang dihomogenkan memiliki risiko berupa tidak tumbuhnya jamur karena dampak dari proses homogenisasi menggunakan blender.

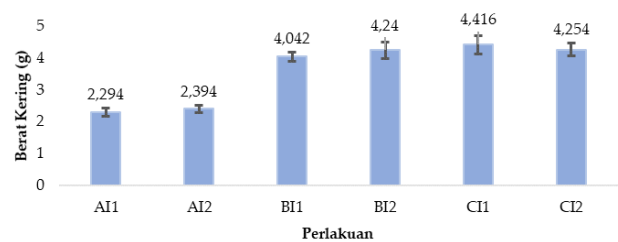
Perlakuan *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi pada *Luffa* dengan inokulum spora dan diinkubasi selama 72 jam (BI₂) memiliki limbah batik yang paling jernih dibandingkan dengan limbah awal. Hal ini menunjukkan adanya proses dekolorisasi yang terjadi oleh *Aspergillus* sp.3 yang terimobilisasi *Luffa*. Proses dekolorisasi oleh jamur dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu secara enzimatis dan non-enzimatis. Dekolorisasi secara enzimatis oleh jamur melibatkan enzim ekstraseluler kompleks yang disekresikan oleh jamur ke dalam media pertumbuhan berupa enzim ligninolitik. Enzim ligninolitik merupakan enzim yang mempunyai kemampuan untuk mengoksidasi senyawa fenol (Wang *et al.*, 2015; Dimawarnita & Panji, 2019). Fenol merupakan zat pelarut pewarna kain yang berbahaya bagi organisme jika dilepaskan langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu (Saraswati & Purwanti, 2014). Enzim ligninolitik dapat menurunkan berbagai senyawa berbahaya dan polutan kompleks seperti zat pewarna. Enzim ligninolitik dapat merombak pewarna melalui reaksi redoks yang kemudian akan dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O (Pande *et al.*, 2019). Enzim ligninolitik yang disekresi jamur seperti *Laccase*, *Lignin peroksidase* (LiP), dan *Mangan peroksidase* (MnP). Berdasarkan penelitian Dewi *et al.* (2021), peningkatan aktivitas enzim tersebut menunjukkan adanya proses degradasi secara enzimatis oleh jamur. Proses degradasi tersebut mampu memecah ikatan aromatik, C-Br *alkali halogen*, dan -NH pada air limbah pewarna Indigosol Blue 04B menjadi senyawa yang lebih sederhana bernama senyawa alifatik yang mengandung C=C, C-O, dan ikatan -OH yang diprediksi sebagai alifatik kelompok senyawa alkohol. Menurut Ekanayake & Manage (2022), enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger* dalam mendekolorisasi limbah pewarna Direct Blue 201 (DB 201), yaitu *Lignin peroksidase* (LiP) dan *Laccase*.

Mekanisme dekolorisasi secara non-enzimatis terjadi pada dinding sel jamur melalui proses adsorpsi pewarna. Adsorpsi zat warna terjadi melalui interaksi kimia antar molekul zat warna dan komponen dinding sel jamur, interaksi elektrostatik antara molekul pewarna dan situs elektron pada permukaan sel jamur, serta gaya fisik yang lemah seperti ikatan hidrogen dan dinding sel yang saling berinteraksi pada bagian hidrofobik dari molekul zat warna dengan polisakarida biomassa jamur. Dinding sel jamur

mengandung *gugus amino, karboksil, hidroksil, fosfat, dan sulfonat* yang dapat berinteraksi dengan zat pewarna (Dewi *et al.*, 2021).

Perlakuan *Luffa* tanpa jamur yang diberikan pada limbah batik juga memiliki kemampuan dekolorisasi sehingga tanpa diimobilisasikan ke jamur tetap akan terjadi proses dekolorisasi, tetapi hasil yang diperoleh tidak lebih baik dari limbah yang diberi perlakuan *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa*. Menurut Anastopoulos & Pashalidis (2020), *Luffa* merupakan bahan *lignoselulosa* yang mengandung 60% *selulosa*, 30% *hemiselulosa*, dan 10% *lignin* serta terdiri dari serat yang saling silang membentuk struktur retikuler tiga dimensi. Boudechiche *et al.* (2016) menyatakan bahwa *Luffa* merupakan biosorben yang dapat medekolorisasi pewarna Methylene Blue, karena *Luffa* termasuk bahan *lignoselulosa* yang mampu melakukan absorpsi.

Keberhasilan proses dekolorisasi ditandai dengan adanya penambahan biomassa, karena seiring terjadinya dekolorisasi limbah maka juga terjadi penambahan biomassa jamur (Nurhaedar *et al.*, 2019). Data hasil dari pengukuran berat kering miselium menunjukkan bahwa berat kering yang didapatkan berkisar antara 2,294-4,461g (Gambar 3). Menurut Stephanie (2019), proses dekolorisasi meningkat pada fase eksponensial karena pada fase tersebut dihasilkan enzim yang mempercepat proses dekolorisasi, yaitu enzim ligninolitik ekstraseluler, sehingga pada fase tersebut pula terjadi peningkatan biomassa. Peningkatan miselium jamur disebabkan karena adanya penyerapan nutrisi dari limbah batik oleh jamur. Menurut Dewi *et al.* (2022), miselium jamur dapat mencerna nutrisi dalam air limbah pewarna batik untuk menyediakan energi dan membantu pertumbuhan miselium dalam pembentukan sel-sel. Jamur akan memecah senyawa kompleks pada pewarna limbah yang selanjutnya diubah menjadi senyawa sederhana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber nitrogen dan karbon jika nutrisi dalam larutan habis.



Gambar 3. Histogram rata-rata berat kering *Aspergillus* sp.3 terimobilisasi *Luffa*

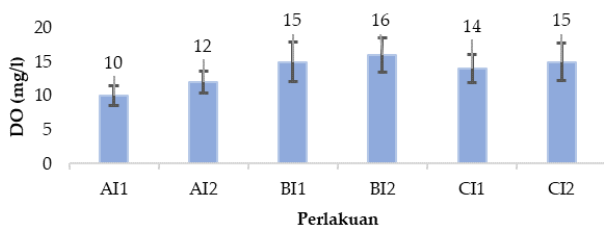
Derajat keasaman sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan *Aspergillus* sp.3 yang terimobilisasi *Luffa* dapat dilihat pada Tabel 1. Data tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan pada nilai pH limbah batik dari pH sebelum perlakuan sebesar 8,1 menjadi 5-7,14. Proses dekolorisasi berpengaruh terhadap derajat keasaman. Menurut Subyekti (2020), *Aspergillus niger* dapat mendekolorisasi zat warna Methylene Blue pada kondisi optimum pada pH 6. Ali *et al.* (2009) menyatakan bahwa proses dekolorisasi yang menstimulasi pertumbuhan jamur *Aspergillus niger*. Adanya kondisi asam, menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi ion H⁺ yang dapat meningkatkan

keterlibatan elektron dalam proses dekolonisasi sehingga menyebabkan percepatan dekolonisasi. Selain itu, penggunaan *Luffa* juga berpengaruh terhadap penurunan pH. Menurut Boudechiche et al. (2016), serat *Luffa* yang tersusun atas rantai *lignin* dan *selulosa* akan bermuatan negatif pada pH tinggi sehingga dapat mengikat pewarna kationik dengan gaya tarik elektrostatis dan memengaruhi penurunan pH pada limbah. Proses penurunan pH juga disebabkan karena adanya senyawa asam organik, seperti malat atau asam oksalat yang dihasilkan ketika perombakan zat organik oleh enzim ligninolitik berupa *Mangan Peroksidase* (MnP). MnP adalah *heme peroksidase* ekstraseluler yang memerlukan Mn^{2+} sebagai substrat pereduksi. MnP dapat mengoksidasi struktur fenolik menjadi radikal fenoksil setelah mengoksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{3+} . Senyawa Mn^{3+} yang terbentuk sangat reaktif dan dapat membentuk ikatan kompleks dengan senyawa organik (Muslimah & Kuswyasari, 2013).

Tabel 1. Kadar pH limbah batik Pekalongan setelah terdegradasi oleh *Aspergillus sp.3* yang terimobilisasi *Luffa*

pH	AI ₁	AI ₂	BI ₁	BI ₂	CI ₁	CI ₂
Sebelum Dekolorisasi	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Setelah Dekolorisasi	7-7,14	6,7-6,8	5-7	6,3-6,6	5,6-7	5,9-7

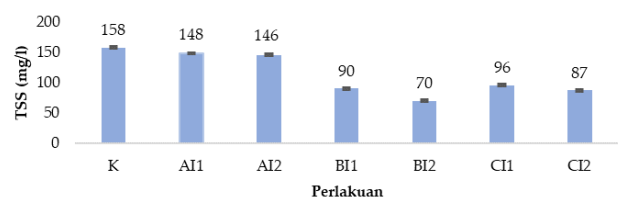
Kadar DO limbah pewarna batik Pekalongan sebelum perlakuan sebesar 6 mg/l, sedangkan setelah perlakuan menggunakan *Aspergillus sp.3* terimobilisasi *Luffa* kadar DO limbah mengalami kenaikan sampai 10-16 mg/l. Hal ini sejalan dengan penelitian Ramamurthy et al. (2011) mengenai biodegradasi dan perubahan sifat fisika-kimia pada limbah tekstil menggunakan jamur *Aspergillus niger*, *Penicillium spp.*, *Rhizopus spp.*, *Trametes hirsuta*, *Trametes versicolor* dan *Trichoderma viride*, yang dapat menaikkan kadar DO pada limbah tekstil dari kadar awal sebesar 1-3 mg/l menjadi 6-8 mg/l. Kadar oksigen terlarut (DO) menunjukkan jumlah oksigen yang terlarut dalam air.



Gambar 4. Histogram kadar DO limbah batik setelah terdegradasi

Limbah pewarna batik banyak mengandung senyawa organik yang akan mengalami degradasi dan dekomposisi oleh bakteri aerob menggunakan oksigen dalam air, sehingga menyebabkan oksigen terlarut dalam air akan semakin berkurang (Zammi et al., 2018). Penurunan kadar oksigen akan berdampak pada kehidupan biota perairan (Daroini & Arisandi, 2020). Menurut Pérez et al. (2020), dalam penelitiannya mengenai dekolonisasi pewarna amaranth menggunakan *Trametes polyzona*, menyatakan bahwa proses dekolonisasi berkorelasi dengan penurunan COD dan BOD,

yang berarti adanya kenaikan kadar oksigen dalam limbah setelah perlakuan. Menurut Salem et al. (2019), menyatakan bahwa kenaikan kadar oksigen yang ada pada limbah batik setelah perlakuan jamur disebabkan oleh perombakan kandungan organik dari limbah yang menyebabkan toksisitas menurun. Kenaikan kadar oksigen dalam limbah setelah terdegradasi juga disebabkan oleh penggunaan *incubator shaker* saat inkubasi. Hal ini didukung oleh Ayu et al. (2016), bahwa penggunaan *incubator shaker* bertujuan dalam meningkatkan kadar oksigen dalam medium.

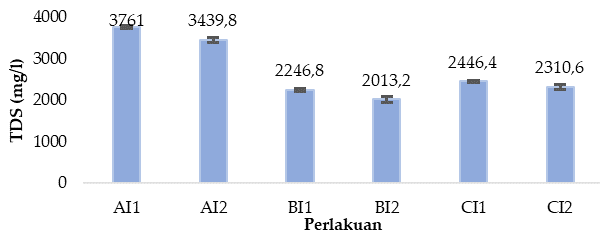


Gambar 5. Histogram kadar TSS limbah batik setelah terdegradasi

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh hasil penurunan kadar TSS pada limbah pewarna batik Pekalongan setelah perlakuan dan diperoleh hasil penurunan terbesar hingga 70 mg/l pada perlakuan *Aspergillus sp.3* terimobilisasi *Luffa* dengan inokulum spora dan dengan waktu inkubasi 72 jam (BI₂). Penurunan kadar TSS tersebut disebabkan adanya proses degradasi senyawa kompleks limbah pewarna batik menjadi lebih sederhana oleh jamur. Menurut Dinatha et al. (2013), penurunan kadar TSS pada limbah oleh jamur terjadi karena adanya enzim ligninolitik yang merombak molekul zat warna menjadi molekul yang lebih sederhana. Selain jamur, *Luffa* juga berperan dalam penurunan kadar TSS, berdasarkan penelitian Ajiputra et al. (2022) mengenai kombinasi *green coagulan* berupa gambas kering atau *Luffa* dan adsorben *granular active carbon* sebagai pengolahan air limbah batik, didapatkan bahwa gambas kering atau *Luffa* dapat mengurangi kadar TSS air limbah batik sebesar 76%. Pernyataan tersebut juga diperkuat oleh Ferreira et al. (2020), bahwa jamur memiliki kemampuan untuk memecah bahan organik melalui biomassa jamur yang dapat merangkap dan menyerap padatan tersuspensi melalui hifa jamur untuk didegradasi. Menurut Nurroisah (2014), air limbah industri batik mengandung zat organik, padatan tersuspensi, pewarna, kromium, sulfida, ammonia fenol, lemak dan minyak sehingga menyebabkan kadar TSS yang tinggi. Berdasarkan penelitian Dewi et al. (2019), *Aspergillus sp.3* mampu mengurangi konsentrasi total Cr, S²⁻, NH₃, fenol, dan total minyak pada limbah industri batik dengan persentase penurunan konsentrasi masing-masing 89,09%, 83,05%, 56,37%, 48,48%, 95,09%.

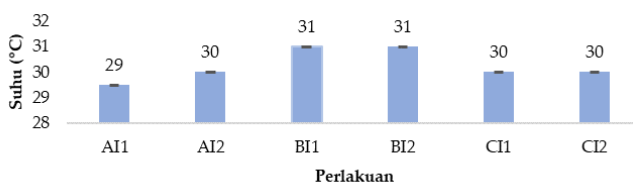
Hasil pengukuran kadar TDS setelah perlakuan pada limbah pewarna batik Pekalongan menunjukkan bahwa kadar TDS mengalami penurunan sebesar 2013,2-3761 mg/l dengan pemberian *Aspergillus sp.3* terimobilisasi *Luffa* (Gambar 6). Penurunan kadar TDS terbesar hingga 2013,2 mg/l pada perlakuan *Aspergillus sp. 3* terimobilisasi *Luffa* dengan inokulum spora dan dengan waktu inkubasi 72 jam (BI₂). Menurut Entristiana et al. (2022), penurunan kadar TDS pada limbah tekstil tersebut disebabkan oleh terdegradasinya bahan organik yang terlarut dalam air limbah menjadi gas.

Pada fase metanogenik, asam organik diubah menjadi karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄). Selain itu penggunaan jamur dalam mendegradasi limbah mempengaruhi penurunan kadar TDS pada limbah pewarna batik Pekalongan, karena jamur memiliki kemampuan dalam mengurangi logam berat dan toksisitas limbah batik. Menurut Dewi *et al.* (2021), dekolorisasi limbah oleh jamur menghasilkan senyawa yang tidak berbahaya seperti senyawa benzena yang telah terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana.



Gambar 6. Histogram TDS limbah batik Pekalongan setelah terdegradasi

Hasil pengukuran suhu limbah batik setelah terdecolorisasi menggunakan *Aspergillus* sp.3 yang terimobilisasi *Luffa* berkisar antara 29-31°C (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa suhu pada hasil limbah setelah perlakuan mengalami kenaikan. Peningkatan suhu ini terjadi selama dekolorisasi air limbah pewarna batik Pekalongan. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Entristiana *et al.* (2022) yang menunjukkan adanya peningkatan suhu pada limbah batik yang diberi perlakuan dengan jamur *Pleurotus ostreatus* dengan suhu awal 28-30°C dan meningkat menjadi 30-35°C pada akhir perlakuan. Peningkatan suhu tersebut menunjukkan aktivitas miselium dapat memengaruhi proses dekolorisasi. Namun, suhu yang diperoleh sesuai dengan suhu optimum pertumbuhan jamur. Ningsih *et al.* (2017) menyatakan bahwa suhu optimum jamur untuk mengurangi warna pada limbah pewarna berkisar antara 28-35°C.



Gambar 7. Histogram nilai suhu limbah batik Pekalongan setelah terdegradasi

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, menyebutkan parameter kadar paling tinggi BOD₅, COD, TSS, yaitu sebesar 60, 150, 50 (mg/L), serta nilai pH sebesar 6,0 – 9,0. Meskipun masih belum memenuhi standar kualitas yang ditetapkan pemerintah, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai TSS mencapai 70, mendekati baku mutu yang ditetapkan sebesar 50 mg/l, sementara nilai pH telah berada dalam rentang yang diizinkan yaitu 5-9. Selain itu, penelitian ini juga

menunjukkan peningkatan kualitas air limbah batik dengan meningkatnya nilai DO dan penurunan TDS. Di masa depan, jamur dalam penelitian ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai agen valorisasi dan *biorefinery*, pengolahan limbah, serta menjadi produk yang dapat digunakan kembali.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa *Aspergillus* sp. 3 yang diimobilisasi dengan menggunakan *Luffa* memiliki kemampuan untuk mendekolorisasi limbah pewarna batik dari Pekalongan. Kondisi optimal untuk dekolorisasi ditemukan pada 72 jam inkubasi dengan menggunakan inokulum spora dan menghasilkan tingkat dekolorisasi rata-rata 99,70%.

PERSANTUNAN

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2023, untuk itu kami ucapkan terima kasih untuk dukungan finansialnya dalam memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ajiputra, F.A., Hendrasarie, N., & Putro, R.K.H. (2022). Kombinasi green coagulant dan adsorben GAC (Granular Activated Carbon) sebagai pengolahan limbah cair batik. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4), 3733-3740.

Ali, N., Hameed, A., Siddiqui, M., Ghumro, P.B., & Ahmed, S. (2009). Application of *Aspergillus niger* SA1 for the enhanced bioremoval of azo dyes in simulated textile effluent. *African Journal of Biotechnology*, 8(16), 3839-3845.

Amiruddin, A., Hasri, H., & Sudding, S. (2018). Biodegradasi zat warna acid orange 7 menggunakan enzim jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 47-51.

Anastopoulos, I., & Pashalidis, I. (2020). Environmental applications of *Luffa cylindrica*-based adsorbents. *Journal of Molecular Liquids*, 319, 1-9.

Ardiati, F.C., Yanto, D.H.Y., Anita, S.H., & Watanabe, T. (2019). Immobilization of *Trametes hirsuta* D7 in light expanded clay aggregate for decolorization of synthetic dye. *Earth and Environmental Science*, 308(1), 1-7.

Ayu, D.K., Nawfa, R., & Purnomo, A.S. (2016). Pengaruh penambahan bakteri *Ralstonia picketti* terhadap biodegradasi DDT oleh jamur pelapuk putih *Phlebia brevispora*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Boudechiche, N., Mokaddem, H., Sadaoui, Z., & Trari, M. (2016). Biosorption of cationic dye from aqueous solutions onto lignocellulosic biomass (*Luffa cylindrica*): characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *International Journal of Industrial Chemistry*, 7(2), 167-180.

- Brundrett, M., Malajczuk, N., Mingqin, G., Daping, X., Snelling, S. & Dell, B. (2005). Nursery Inoculation of Eucalyptus Seedlings in Western Australia and Southern China using Spores and Mycelial Inoculum of Diverse Ectomycorrhizal Fungi from Different Climatic Regions. *Forest Ecology and Management*, 209(3), 193-205.
- Chempaka, R.M., Wibisono, Y., & Yanto, D.H.Y. (2022). Dekolorisasi limbah pewarna batik printing menggunakan jamur pelapuk putih *Trametes hirsuta* EDN 082 yang terimobilisasi pada hidroton. Disertasi. Universitas Brawijaya.
- Daroini, T. A., & Arisandi, A. (2020). Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4), 558-566.
- Dewi, R.S., Rina, S.K., Erni, M., & Yekti, A. (2016). Studi komparatif penurunan warna limbah cair batik menggunakan *Aspergillus niger*. *Prosiding Symbion*, 269-278.
- Dewi, R.S., Kasiamdari, R.S., Martani, E., & Purwestri, Y.A. (2018). Decolorization and detoxification of batik dye effluent containing indigosol blue-04B using fungi isolated from contaminated dye effluent. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 23(2), 54-60.
- Dewi, R.S., Kasiamdari, R.S., Martani, E., & Purwestri, Y.A. (2019). Efficiency of *Aspergillus* sp.3 to reduce chromium, sulfide, ammonia, phenol, and fat from batik wastewater. *Earth and Environmental Science*, 308(1), 1-8.
- Dewi, R.S., Ulfimaturahmah, F.A., & Khotimah, K. (2019). The decolorization effect by *Aspergillus* sp.3 on goldfish opercular beats. *Journal of Microbial Systematics and Biotechnology*, 1(2), 18-26.
- Dewi, R.S., Mumpuni, A., & Tsabitah, N.I. (2020). Batik dye decolorization by immobilized biomass of *Aspergillus* sp. *Earth and Environmental Science*, 550(1), 1-9.
- Dewi, R.S., Kasiamdari, R.S., Martani, E. & Purwestri, Y.A. (2021). Mechanisms of indigosol blue O4B batik dye wastewater degradation by *Aspergillus* sp.3 and its product analysis. *Research Journal of Biotechnology*, 16(2), 34-42.
- Dewi, R.S., Sari, A.A. & Fazrian, R.A. (2022). Decolorization of indigosol blue batik effluent using *Lepiota* sp. isolated from baturraden botanical garden. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1017(1), 1-8.
- Dimawarnita, F., & Panji, T. (2019). Aktivitas enzim ligninolitik *Pleurotus ostreatus* pada media yang mengandung TKKS dan aplikasinya untuk dekolorisasi zat warna. *Menara Perkebunan*, 87(1), 31-40.
- Dinatha, N.M., Sibarani, J., & Mahardika, I.G. (2013). Degradasi limbah tekstil menggunakan jamur lapuk putih *Daedaleopsis eff. confragosa*. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(2), 288-296.
- Ekanayake, M.S., & Manage, P. (2022). Mycoremediation potential of synthetic textile dyes by *Aspergillus niger* via biosorption and enzymatic degradation. *Environment and Natural Resources Journal*, 20(3), 234-245.
- Entristiana, C.M., Dewi, R.S., & Mumpuni, A. (2022). Textile wastewater decolorization by *Pleurotus ostreatus* in organic material board media. *Omni-Akuatika*, 18, 59-66.
- Ferreira, J.A., Varjani, S., & Taherzadeh, M.J. (2020). A critical review on the ubiquitous role of filamentous fungi in pollution mitigation. *Current Pollution Reports*, 6, 295-309.
- Kurniawan, M.W., Purwanto, P., & Sudarno, S. (2013). Strategi Pengelolaan Air Limbah Sentra UMKM Batik yang Berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), pp.61-72.
- Lailiyah, M. (2021). Uji potensi isolat jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam biodegradasi beberapa pewarna tekstil sintesis. Disertasi. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Laraib, Q., Shafique, M., Jabeen, N., Naz, S.A., Nawaz, H.R., Solangi, B., & Sohail, M. (2020). *Luffa cylindrica* immobilized with *Aspergillus terreus* QMS-1: an efficient and cost effective strategy for the removal of congo red using stirred tank reactor. *Polish Journal of Microbiology*, 69(2), 193-203.
- Loyarkat, S., Cheirsilp, B., & Prasertsan, P. (2015). Two stage repeated batch fermentation of immobilized *Clostridium beijerinckii* on oil palm fronds for solvents production. *Process Biochemistry*, 50(8), 1167-1176.
- Martani, E., Margino, S., & Nurnawati, E. (2011). Isolasi dan karakterisasi jamur pendegradasi zat pewarna tekstil. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 18(2), 127-136.
- Muslimah, S., & Kuswytasari, N.D. (2013). Potensi basidiomycetes koleksi biologi ITS sebagai agen biodekolorisasi zat warna RBBR. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), E234-E239.
- Ningsih, D.A., Kusdiyantini, E., & Raharjo, B. (2017). Uji aktivitas enzim fitase yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger* dan *Neurospora* sp. pada kondisi fermentasi yang berbeda. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(4), 19-28.
- Novianti, D.L., & Tuhu, A. (2014). Penurunan TSS dan warna limbah industri batik secara elektro koagulasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 37-44.
- Nurhaedar, N., Fahrudin, F., Syam, N.A., & Talessang, N.H. (2019). Dekolorisasi dan degradasi limbah zat warna naftol oleh jamur dari limbah industri batik. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 10(2), 1-8.
- Nurroisah, E. (2014). Keefektifan aerasi sistem tray dan filtrasi sebagai penurunan chemical oxygen demand dan padatan tersuspensi pada limbah cair atik. *Unnes Journal of Public Health*, 3(4), 56-64.

- Pande, V., Pandey, S.C., Joshi, T., Sati, D., Gangola, S., Kumar, S., & Samant, M. (2019). Biodegradation of toxic dyes: a comparative study of enzyme action in a microbial system. *Smart bioremediation technologies*, 255-287.
- Peppler, H.J., (1967). Ethyl Alcohol, Lactic Acid, Acetone-Butyl Alcohol and Other Microbial Products. Microbial technology. Reinhold Publishing Corp., New York, pp.403-416.
- Pérez-Cadena, R.Y. García-Esquivel, Y.E. Castañeda-Cisneros, M.G. Serna-Díaz, Ramírez-Vargas, M.R., Muro-Urista, C.R., & Téllez-Jurado, A. (2020). Biological decolorization of amaranth dye with *Trametes polyzona* in an airlift reactor under three airflow regimes. *Heliyon*, 6(12), 1-7.
- Prasad, K.K., Mohan, S.V., Bhaskar, Y.V., Ramanaiah, S.V., Babu, V.L., Pati, B.R., & Sarma, P.N. (2005). Laccase production using *Pleurotus ostreatus* 1804 immobilized on PUF cubes in batch and packed bed reactors: influence of culture condition. *The Journal of Microbiology*, 43(3), 301-307.
- Przystas, W., Zabłocka-Godlewska, E., & Grabińska-Sota, E. (2018). Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(2), 285-295.
- Ramamurthy, N., Balasaraswathy, S., & Sivasakthivelan, P. (2011). Biodegradation and physico-chemical Changes of textile effluent by various fungal species. *Romanian J. Biophys*, 21(2), 113-123.
- Salem, S.S., Mohamed, A., El-Gamal, M., Talat, M., & Fouda, A. (2019). Biological decolorization and degradation of azo dyes from textile wastewater effluent by *Aspergillus niger*. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(10), 1799-1813.
- Saraswati, Y.W. & Purwanti, F. (2014). Sebaran spasial dan temporal fenol, kromium dan minyak di sekitar sentra industri batik kabupaten pekalongan. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(1), 186-192.
- Stephanie, C. (2019). Kemampuan isolat jamur *Aspergillus niger* sebagai agen bioremediasi dalam dekolorisasi senyawa pewarna reactive red dan direct turkish blue. *Calyptra*, 8(1), 2212-2227.
- Subyekti, N.R. (2020). *Biosorpsi zat warna methylene blue oleh Aspergillus niger*. Thesis. Universitas Brawijaya.
- Wang, W., Liu, F., Jiang, Y., Wu, G., Guo, L., Chen, R., & Xie, B. (2015). The multigene family of fungal laccases and their expression in the white rot basidiomycete *Flammulina velutipes*. *Gene*, 563(2), 142-149.
- Wan, W.A.A.Q.I., Abd Malek, R., Harvey, L.M. & McNeil, B., (2016). Exopolysaccharide Production by *Ganoderma lucidum* Immobilised on Polyurethane Foam in a Repeated-Batch Fermentation. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 8, 24-31.
- Wulandari, F.Y., Ratnaningtyas, N.I., & Dewi, R.S. (2014). Dekolorisasi limbah batik menggunakan limbah medium tanam *Pleurotus ostreatus* pada waktu inkubasi yang berbeda. *Scripta Biologica*, 1(1), 73-77.
- Yesilada, O., Birhanli, E. & Geckil, H. (2018). Bioremediation and Decolorization of Textile Dyes by White Rot Fungi and Laccase Enzymes. *Mycoremediation and Environmental Sustainability*, 2, pp.121-153.
- Zammi, M., Rahmawati, A., & Nirwana, R.R. (2018). Analisis dampak limbah buangan limbah pabrik batik di sungai simbangkulon kab. pekalongan. *Walisongo Journal of Chemistry*, 1(1), 1-5.