

**UJI POTENSI ISOLAT JAMUR *Phanerochaete chrysosporium* DALAM  
BIODEGRADASI BEBERAPA PEWARNA TEKSTIL SINTETIS**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh:**

**MAZIYATUL LAILIYAH  
NNIM. H01217009**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
JURUSAN SAINS  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA  
2021**

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mazyatul Lailiyah

NIM : H01217009

Program studi : Biologi

Angkatan : 2017

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul “**UJI POTENSI JAMUR *Phanerochaete chrysosporium* DALAM BIODEGRADASI BEBERAPA PEWARNA TEKSTIL SINTETIS**”. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukannya, maka saya bersedia menerima sanksi yang sudah diterapkan. Demikian pernyataan keaslian ini saya buat sebenar-benarnya.

Surabaya, 10 Agustus 2021

Yang menyatakan,



Mazyatul lailiyah  
H01217009

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**UJI POTENSI ISOLAT JAMUR *Phanerochaete chrysosporium* DALAM  
BIODEGREDASI BEBERAPA bPEWARNA TEKSTIL SINTETIS**

Diajukan Oleh:

**Maziyatul Lailiyah**

NIM: H01217009

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

di Surabaya, 4 Agustus 2021

**Dosen Pembimbing  
Utama**



Eva Agustina, M.Si  
NIP. 198908302014032008

**Dosen Pembimbing  
Pendamping**



Hanik Faizah, S.Si., M.Si  
NUP. 201409019

## PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi Maziyatul Lailiyah ini telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi  
Surabaya, 10 Agustus 2021

Mengesahkan,  
Dewan Penguji

Penguji I



Eva Agustina, M.Si  
NIP. 198908302014032008

Penguji II



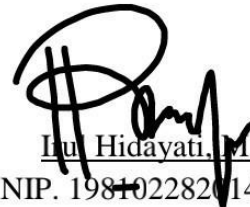
Hanik Faizah, S.Si., M.Si  
NUP. 201409019

Penguji III



Dedy Suprayogi, M.KL  
NIP. 1985121112014031002

Penguji IV



Iru Hidayati, M. Kes  
NIP. 198402282014032001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Hj. Evi Fatimatur Rusydiyah, M.Ag  
NIP. 197312272005012003



**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA**  
**PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**  
**KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Mazyatul Lailiyah  
NIM : H01217009  
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ BIOLOGI  
E-mail address : mazyalaily@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi     Tesis     Desertasi     Lain-lain  
(.....)

yang berjudul :

UJI POTENSI ISOLAT JAMUR *Phanerochaete chrysosporium* DALAM BIODEGRADASI BEBERAPA PEWARNA TEKSTIL SINTETIS

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 14 Agustus 2020

Penulis

(Mazyatul Lailiyah)

















dihasilkan dari pewarna sintetis masih berwarna, mengandung zat-zat kimia yang berbahaya serta mengandung polutan berupa logam berat yang berbahaya sehingga sulit terdegradasi secara alamiah. Terdapat beberapa jenis zat warna sintetis yang biasanya digunakan pada industri tekstil yaitu jenis pewarna azo, indigosol, asam, direct, procion, dan sulfur. Pewarna tersebut memiliki kandungan karsinogenik dan dapat mencemari lingkungan (Agustina *et al.*, 2011).

Pencemaran lingkungan terjadi dimana-mana seperti pada Desa Karangrandu Kabupaten Jepara pada Sungai Gede, tercemar sepanjang 3 km. Kondisi air sungai hitam, berbau busuk, dan menyebabkan gatal-gatal. Pencemaran ini bukan pertama kali terjadi, sebelumnya pada tahun 2015 juga terjadi pencemaran yang diakibatkan oleh pembangunan industri di wilayah Jepara (Nisrina *et al.*, 2020).

Sungai Brengi masih termasuk dalam kawasan wilayah Kabupaten Pekalongan dan merupakan percabangan dari Sungai Sengkarang. Penduduk desa tersebut sebagian besar mata pencahariannya sebagai pengrajin batik atau buruh batik. Limbah dari proses membatik dapat bersifat toksik bagi perairan khususnya Sungai Brengi karena pada proses pembuatannya banyak menggunakan zat-zat kimia. Pencemaran dari limbah tersebut berdampak negatif bagi lingkungan khususnya perikanan dan perairan karena dapat menurunkan dan mengganggu stabilitas dari ekosistem sungai (Saraswati *et al.*, 2014).

Pencemaran lingkungan tersebut disebabkan oleh perbuatan manusia yang kurang peduli dalam pengolahan limbah tekstil sehingga dibuang



Berbagai metode degradasi pewarna tekstil baik secara kimia dengan menggunakan koagulan dan secara fisik dengan menggunakan sedimentasi, adsorpsi dan lain-lain yang sudah diterapkan dan didekembangkan dalam sistem pengolahan limbah untuk mengeleminasi dampak negatif pewarna tekstil. Namun efisiensi penghilangan melalui proses ini seringkali tidak memuaskan seperti pada penghilangan kandungan bahaya dalam warna secara kimia menggunakan koagulan akan menghasilkan lumpur (*sludge*) dalam jumlah relatif besar dan akan menyebabkan masalah baru bagi uni pengolahan limbah. Lumpur tersebut diklasifikasikan sebagai limbah B3 sehingga harus ditangani lebih lanjut akan tetapi terdapat berbagai faktor mulai dari keefektifan, biaya yang cukup tinggi, maupun dampak penerapan metode tersebut terhadap lingkungan masih menghasilkan senyawa yang berbahaya sehingga masih memerlukan perhatian khusus dan perbaikan seperti masalah operasional dan membutuhkan perlengkapan yang intensif (Gul, 2013; Hadibarata *et al.*, 2013).

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan alternatif baru dalam menurunkan atau merombak polutan dan kandungan didalam zat warna yaitu dengan menggunakan cara biologis yang disebut dengan metode biodegradasi (Purnomo *et al.*, 2010). Metode tersebut sederhana, murah, dan penanganannya cukup efisien dan efektif (Ulfi *et al.*, 2014). Biodegradasi merupakan suatu proses yang dapat menurunkan atau mengurangi tingkat kontaminan menjadi bahan yang tidak beracun dala air, tanah, dan lingkungan dengan bantuan mikroorganismenya sebagai agen degradasi. Mikroorganismenya dapat memecah molekul polutan melalui jalur metabolisme yang biasanya digunakan oleh



organisme untuk pasokan energi dan pertumbuhannya (Marimuthu *et al.*, 2013).

Jamur merupakan salah satu mikroorganisme yang dapat mendegradasi komponen warna yang bersifat toksik atau berbahaya karena jamur mempunyai dalam transformasi dimana dapat merubah bahan kimia berbahaya menjadi bahan yang ramah lingkungan (Yesiladah *et al.*, 2006). Penggunaan jamur untuk pengolahan limbah tekstil sangat menarik untuk diketahui lebih lanjut. Salah satu jenis jamur yang berpotensi untuk digunakan dalam pengolahan limbah tekstil adalah jamur yang memiliki enzim ligninolitik ekstraseluler seperti mangan peroksidase, lignin peroksidase, lakase. Enzim tersebut dapat dimanfaatkan untuk pengolahan limbah tekstil, karena jamur mampu menggunakan bahan organik yang terdapat dalam limbah tekstil dapat sebagai sumber energi. Selain itu jamur memiliki gugus fungsi seperti –OH (hidroksil), –NH<sub>2</sub> (amino), –SH (sulfidril) dan yang lainnya yang dapat menyerap zat warna tekstil (Sumahandriyani and sukarta, 2008).

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan berbagai spesies jamur efektif dalam mendegradasi pewarna tekstil seperti telah dilakukan oleh Porri *et al.*, (2011) mengenai isolat *Fussarium oxyporum* digunakan untuk mendegradasi dan detoksifikasi kelas kimia baru pewarna tekstil yang disebut *Glycoconjugate Azo Dye* (GAD) selama 6 hari pertumbuhan pada kultur *batch* cair, dihasilkan jamur mendegradasi pewarna dan media kultur pada akhir mas inkubasi menunjukkan detoksifikasi 99,9 % untuk konsesentrasi awal 150 mg/L diamati secara optimal kondisi operasi pada suhu 24,2 °C, pH 5,5 , dan agitasi 160 rpm selama 7 hari.



Pada penelitian Rahayu (2018), mengenai kemampuan jamur lignolitik dalam mendekolorisasi zat warna tekstil batik naftol. Pada penelitian ini empat isolat (TB01, TB04, TB06, dan ZN04) jamur lignolitik digunakan dalam mendekolorisasi zat warna naftol. Kemampuan jamur dalam mendekolorisasi naftol diuji pada media padat dan cair. Semua jamur di uji mampu tumbuh pada media padat dengan penambahan 50 ppm naftol dan pertumbuhan terbaik ditunjukkan oleh isolat TB04 dan TB06. Tingkat dekolorisasi pada medium cair diuji dengan kondisi pH dan konsentrasi nutrisi yang berbeda. Kondisi optimum dekolorisasi naftol oleh isolat TB04 dan TB06 pada pH 4,0, kadar nitrogen 0,25% urea, dan penambahan 0,2% glukosa. Hasil dekolorisasi pada kondisi kultur diguncang lebih tinggi dibanding pada kultur diam oleh isolat TB04 dan TB06 yaitu masing-masing sebesar 61,47%, dan 79,01% pada kultur diguncang dan 41,97% , dan 53,45% pada kondisi kultur diam. Persentase degradasi naftol juga lebih baik ditunjukkan pada kultur diguncang yaitu sebesar 64,00%, dan 82,11% dan pada kultur diam sebesar 43,68% dan 55,62%.

Pada penelitian Si Hui Chen *et al*, (2019) bahwa *Penicillium simplicissimum* dalam mendegradasi pewarna *Triphenylmethane* (TMV) beracun seperti *Crystal Violet* (CV), *Methyl Violet* (MV), *Malhite Green* (MG), *Cotton Blue* (CB) berpotensi mengurangi toksisitas pada pewarna CV sebesar 98,7%, pewarna MV sebesar 97,5%, pewarna MG sebesar 97,1%, dan pewarna CB sebesar 96,1%. Penelitian berikutnya dilakukan Hasri *et al*, (2018) mengenai biodegradasi zat warna *acid orange 7* menggunakan enzim jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) dengan variasi waktu degradasi. Dalam

penelitian ini menggunakan bibit jamur tiram yang telah diolah dalam bentuk ekstrak enzim. Hasil dari penelitian Khoirudin (2015), bahwa *Gleophyllum trabeum* mampu mendegradasi pewarna tekstil sintetis *metil orange* sebesar 4,94%, 41,57%, dan 47,53% setelah diinkubasi selama 0, 7 dan 14 hari.

Salah satu jenis yang mampu mendegradasi zat warna tekstil sintetis yaitu *Phanerochaete chrysosporium* yang dikenal dengan kapang pendegradasi lignin dari kelas basidiomycetes yang membentuk sekumpulan miselia dan berkembang biak secara aseksual melalui spora atau seksual dengan perlakuan tertentu. *P.chrysosporium* dapat mendegradasi lignin dan senyawa turunannya secara efektif dengan cara menghasilkan enzim peroksidase ekstraseluler yang berupa lignin peroksidase (LiP), lakase, dan mangan peroksidase (MnP) (Jebapriya and Gnanadoss, 2013). Pada penelitian Zeng *et al*, (2015) mengenai studi degradasi *metilen blue* dengan keadaan semi padat fermentasi esidu pertanian oleh *P.chrysosporium* sebesar 84,8% pada konsentrasi optimal 0,4 g/l, pH 5,0, dan suhu 35 °C.

Pada penelitian Sharma *et al*, (2009) *P.chrysosporium* mendegradasi pewarna azo orange II sebesar 86,34% selama 7 hari pada konsentrasi 50 mg/L, suhu 28-30 °C, dan pH 5,0 dalam kultur cair dibawah pengocokan kondisi aerobik. Penelitian Ghasemi *et al*, (2010) jamur *P.chrysosporium* mendegradasi pewarna dengan konsentrasi 24 mg/L, suhu 30°C, pH 4,2 selama 5 hari pada *direct violet* 51, *acid red* 144 sebesar 90% sedangkan *acid red* 88, *reactive orange* 16, dan *reactive black* 5 sebesar 99%. Sedangkan pada penelitian Enayatizamira *et al*, (2011) jamur *P.chrysosporium* mendegradasi













Pewarna azo (gambar 2.1) mengandung gugus sulfonat sebagai substituen yang disebut pewarna azo tersulfonasi. Pada kelompok azo dikonjugasi dengan substituen aromatik atau kelompok enolizable yang membuat struktur kompleks mengarah pada ekspresi variasi warna yang besar (Rajaguru *et al.*, 2002). Struktur kompleks aromatik yang dimiliki oleh pewarna azo membuatnya bersifat rekalsitran dan stabil sehingga sulit untuk dilakukan biodegradasi dan xenobiotik di alam. Selain itu pewarna ini memiliki sifat mutagenik, toksik, dan ada beberapa diantaranya dapat bersifat karsinogenik (Singh, 2015).

Kinerja enzim lakase mendegradasi senyawa azo telah banyak dipelajari di berbagai studi sebelumnya. Enzim ini tergolong enzim oksidase yang dapat mengoksidasi *multicopper phenol* melalui mekanisme radikal bebas non-spesifik membentuk komponen fenolik, sehingga mencegah terbentuknya amina aromatik yang bersifat toksik (Rajaguru *et al.*, 2002). Mekanisme enzim lakase mendegradasi senyawa azo 3-(2-hidroksi-1-naftilazo) asam benzensulfonik dapat ditunjukkan pada gambar 2.2 sebagai berikut.





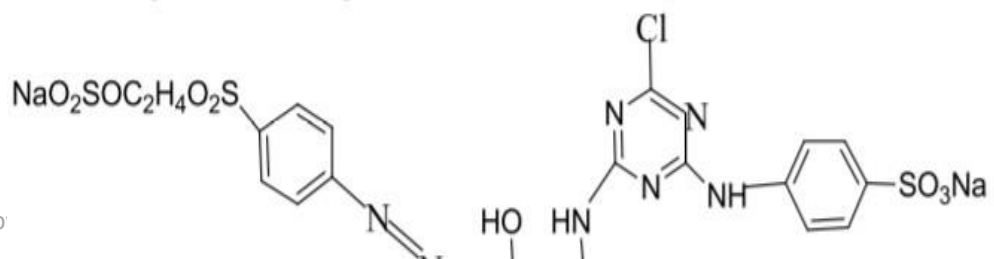


Adapun macam-macam zat warna azo sebagai berikut:

### 2.1.1.1 Zat Pewarna Reaktif

Pewarna reaktif merupakan satu-satunya pewarna tekstil yang dirancang untuk membentuk ikatan kovalen dengan substrat selama proses aplikasi. Struktur aromatik pada zat warna reaktif sulit dibiodegradasi, karena terbentuknya ikatan kovalen yang kuat antara atom C dari zat warna dengan atom O, N atau S dari gugus hidroksi, amina atau *thiol* dari polimer (Widjajanti, 2011). Pewarna reaktif dimana pewarna tersebut memberikan gamut yang luas dari nuansa tahan luntur cahaya yang baik dan juga tahan luntur mencuci yang sangat baik pada kapas (Farouk and Gaffer, 2013).

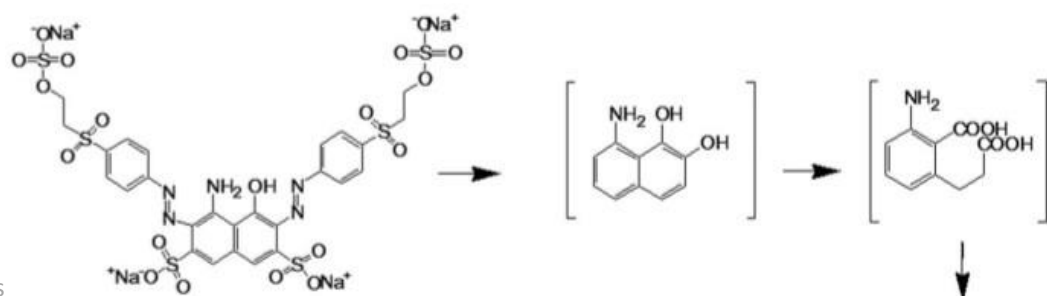
Menurut Daranindra (2010), bahwa zat warna reaktif umumnya dapat menggandakan ikatan langsung dan bereaksi dengan serat sehingga termasuk bagian dari serat tersebut. Zat warna reaktif yang sering digunakan dalam pewarnaan batik salah satunya yaitu remazol. Dari segi teknis, remazol ini dapat digunakan dengan cara coletan, pencelupan, maupun kuwasan. Zat warna ini tergolong sifat yang larut dalam air, memiliki warna yang brilliant dan memiliki kekuatan warna (*color strength*) yang sangat tinggi. Struktur kimia pewarna zat reaktif dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Struktur kimia pewarna C.I. *reaktif red*  
(Farouk and Gaffer, 2013)

Zat pewarna C.I. *reaktif red* (gambar 2.4) ini termasuk zat pewarna yang sulit dibiodegradasi karena adanya ikatan kovalen didalamnya yang kuat antara atom karbon dari zat warna dengan atom N, O, atau S dari gugus amino atau thiol dari polimer dan hidroksi. Zat pewarna ini memiliki berat molekul sangat kecil, tetapi spektra absorpsinya jelas dan runcing, warnanya lebih terang, dan strukturnya lebih sederhana. Zat pewarna reaktif diantaranya sering digunakan pada industri batik, yaitu *Procion*, *Drimaren*, *Cibracon*, dan *Lavafix* yang dapat mengadakan reaksi substitusi dengan serat dan membentuk ikatan ester dan juga zat warna Remazol, Primazin, dan Remalan yang dapat mengadakan reaksi adisi dengan serat dan membentuk ikatan eter (Hunger, 2003).

Mekanisme biodegradasi pewarna *reactive black 5* dapat ditunjukkan pada gambar 2.5 sebagai berikut:



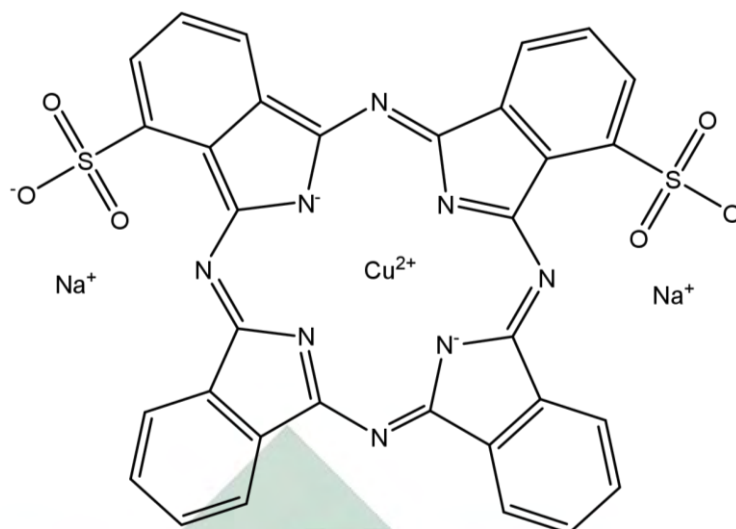


8- amino-naphthalene-1,2-diol dioksidasi menjadi 2-amino-6-(2-carboxy-ethyl)-asam benzoat melalui pembelahan intradiol yang dimediasi oleh dioksigenase. Enzim memperkenalkan molekul oksigen kedalam molekul aromatik. Aktivitas ligninolitik berlanjut dan dekarboksilasi yang dikatalis oleh lakase dari senyawa ini menjadi fenilamin (Karigar and Rao, 2011).

Cincin fenilamin membelah menjadi sec-butilamina dimediasi oleh MnP. MnP mengkatalisasi peroksidasi asam lemak tak jenuh (tumbuh jamur) menjadi radikal lemak peroksil yang dimana nantinya akan menyerang dan molekul aromatik membelah (Kapich *et al.*, 1999).

#### 2.1.1.2 Zat Pewarna *Direct*

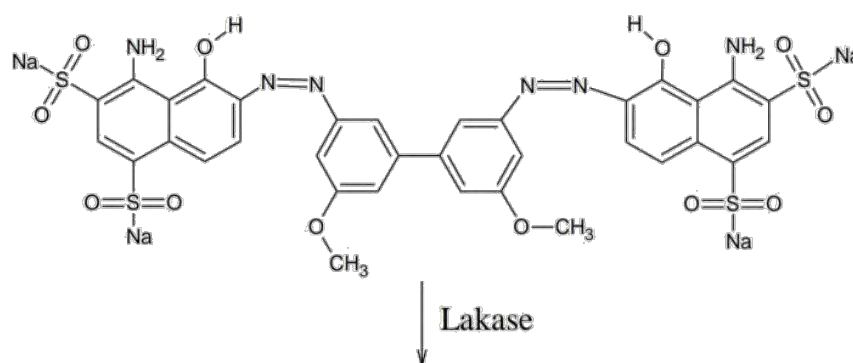
Zat warna *direct* (*direct dye*) merupakan zat warna yang dapat mewarnai serat secara langsung melalui proses penyerapan tanpa bantuan agen pengikat warna. Zat warna ini memiliki sistem kromofor dari gugus azo metin (-C=N-) yang dimana berikatan dengan gugus aromatik. Zat warna ini memiliki daya tembus langsung terhadap serat selulosa tanpa adanya bantuan dari senyawa mordant sehingga zat warna *direct* sering disebut zat warna substantif. Zat warna ini daya tahan lunturnya rendah tetapi harganya sangat ekonomis dan pengerjaannya simple. Zat warna *direct* terdapat beberapa jenis yang berbahan dasar *benzidine* yang bersifat karsinogen, yakni dapat menimbulkan kanker. zat warna ini bisa digunakan untuk mewarnai sutra, kapas, dan nilon (Indriyani, 2003). Struktur kimia pewarna *direct* dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2.6 Struktur kimia *direct blue 86* (Indriyani, 2003)

Struktur kimia *direct blue 86* (gambar 2.6) tersebut merupakan senyawa yang memiliki sistem kromofor dari gugus azo metin ( $-C=N-$ ) yang berikatan dengan gugus aromatik dan memiliki gugus aril. *Direct blue 86* memiliki daya tahan cahaya, dan derajat nilai light fastnya 6 (Indriyani, 2003).

Mekanisme degradasi pewarna *direct blue* dengan tipe lain yaitu *direct blue 56* dapat ditunjukkan pada gambar 2.7 sebagai berikut



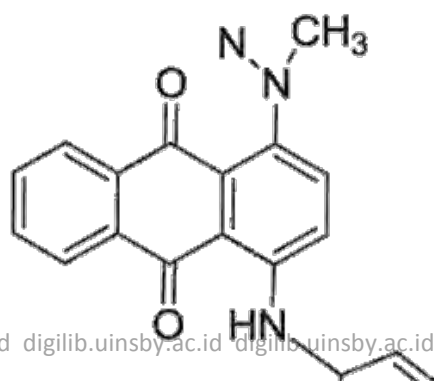


Gambar 2.7 Mekanisme degradasi *direct blue 56* oleh enzim lakase  
(Zille, 2005)

Mekanisme degradasi zat warna *direct blue 56* (gambar 2.7) tersebut terjadi karena adanya aktivitas metabolisme dengan sistem enzimatik yang menyebabkan pewarna digunakan sebagai sumber nutrisi alternatif enzim lignolitik melalui katalitiknya sehingga pewarna terdegradasi. Enzim lakase merupakan enzim yang dapat mendegradasi substrat fenolik melalui proses oksidasi gugus fenol melewati tahap pembentukan senyawa transisi yang menghasilkan senyawa quinon, derivat diazen, dan  $N_2$  (Sumarko, 2013).

### 2.1.1.3 Zat Pewarna Asam

Pewarna asam merupakan sistem azo kromofik (paling utama), antrakuinon, triphenylmethane atau phthalocyanine tembaga yang larut dalam air dengan satu sampai empat kelompok sulfonat (Benkhaya *et al.*, 2017). Struktur kimia pewarna asam dapat ditunjukkan pada gambar 2.8 sebagai berikut.

















yang digunakan untuk mengurangi atau menurunkan senyawa yang beracun menjadi tidak beracun lagi (Aksu and Donmez, 2005).

Bioremediasi dibagi menjadi dua yaitu *In situ* dan *Ex situ*. *In situ* dilakukan dengan teknik bioremediasi langsung pada lokasi kontaminan dengan menggunakan faktor penghambat yang minimal, macam dari *In situ* sendiri diantaranya *biosparging*, *bioaugmentation*, dan *bioventing*. Pada teknik *Ex situ* teknik bioremediasi ditempat lain seperti laboratorium *landfarming* dan bioreaktor. Proses bioremediasi ini memiliki faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti karakteristik tanah, ketersediaan kontaminan dalam populasi mikroba (bioavaibility), nutrisi, pH, kandungan air, akseptor, elektron, dan suhu (Yani *et al.*, 2003). Pada bioremediasi mekanisme penguraian zat warna secara umum dapat dipisahkan menjadi 3, diantaranya: a.) bioabsorpsi, terjadi pengikatan zat terlarut menjadi biomassa tanpa terlibat proses metabolik, b.) biodegradasi, terjadi penguraian zat warna dengan menggunakan reaksi enzimatik, c.) bioakumulasi, pengakumulasian terjadi melalui metabolisme untuk pertumbuhan sel (Aksu and Donmez, 2005).

### **2.2.1 Biodegradasi Pewarna**

Biodegradasi merupakan salah satu cabang dari bioremediasi yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa *non degradable* dengan menguraikan senyawa-senyawa besar/ kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana sehingga lebih ramah lingkungan (Yani *et al.*, 2003). Mikroorganisme yang digunakan dalam biodegradasi adalah mikroorganisme jamur yang memiliki potensi dan peran dalam menggunakan senyawa organik alami sebagai



sumber energi dan juga dapat menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi. Mekanisme penguraiannya oleh jamur, zat pewarna akan terfragmentasi secara biologi (reaksi enzimatik) melalui pemecahan struktur kimia oleh enzim ekstraseluler yang dihasilkan dari jamur tersebut (Kaushik and Malik, 2009). Terjadi penurunan konsentrasi dan proses perubahan warna menjadi lebih terlihat jelas. Proses penguraian yang terjadi akan menghasilkan karbondioksida, air, metana (Eris, 2006).

Teknik biodegradasi jamur, secara fisik dan enzimatik jamur memiliki bidang kontak yang baik sehingga pada medium yang digunakan untuk pertumbuhannya sangat cocok dalam proses uji degradasi. Medium yang digunakan mengandung nutrisi yang lengkap, mineral, dan juga sesuai kebutuhan jamur untuk proses pertumbuhannya. Kandungan protein pada medium ini berfungsi sebagai sumber nitrogen untuk sintesis asam amino. Asam amino hasil sintesis ini selanjutnya digunakan untuk mensintesis protein membentuk protoplasma, struktur sel, serta enzim-enzim yang dibutuhkan untuk metabolisme jamur itu sendiri. Karbohidrat memiliki fungsi untuk sebagai sumber karbon yang akan digunakan oleh jamur sebagai sumber energi selama proses metabolisme. Vitamin B kompleks dan unsur-unsur mineral akan digunakan sebagai katalis dan ko-enzim untuk memperlancar setiap proses metabolisme jamur (Ashari, 2013).

Islam mengajarkan manusia untuk senantiasa merawat dan menjaga lingkungan agar terhindar dari kerusakan. Proses kerusakan lingkungan telah menjadi persoalan umum yang tidak dipisahkan dalam kehidupan manusia dimanapun berada. Kerusakan lingkungan difokuskan pada penurunan











spora. Kebutuhan metabolisme jamur sama seperti bakteri namun membutuhkan lebih sedikit nitrogen dan dapat tumbuh dan berkembang biak pada pH rendah. Ukuran jamur lebih besar dari bakteri tapi karakteristik pengendapannya buruk. Temperature optimum yang mendukung pertumbuhan jamur ini adalah 39C, dengan pH antara 4-5. Mikroorganisme ini termasuk aerobik, maka aktivitas biologisnya juga dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen terlarut dalam media (Dyah & Adi, 2010).

Filamen dari *P. chrysosporium* lebih sering digunakan untuk penerapan dalam bidang bioteknologi daripada tahap sporanya, setelah umur empat hari jamur ini akan mencapai fase lignolitik dan segera memulai mendegradasi lignin. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Dharajiya (2016) bahwa jamur pelapuk putih pada spesies *P. chrysosporium* membutuhkan suhu ruang untuk bisa mendekolorisasi dengan optimal, pH berkisar antara 4 – 4,5 dan memerlukan kandungan oksigen tinggi. *P. chrysosporium* tidak dapat tumbuh pada substrat yang hanya mengandung lignin sebagai sumber karbon untuk menunjang perkembangbiakan sel, sehingga dibutuhkan sumber karbon lain seperti glukosa, sukrosa, dan lain-lain.

Jamur pelapuk putih memproduksi enzim oksida ekstraseluler yang dapat mendegradasi polimer aromatic kompleks di alam yaitu lignin. Enzim tersebut mengandung peroksidase, lignin peroksidase (LiP) dan Mangan peroksidase (MnP). Enzim pengoksidasi ini menyebabkan oksidasi 1 elektron pada senyawa aromatik dalam lignin. Kation radikal yang dihasilkan mudah dipengaruhi untuk oksidasi selanjutnya dengan adanya O<sub>2</sub>. Sistem

ligninolitik ini sifatnya nonselektif sehingga senyawa aromatic yang lain juga dapat dioksidasi dan dibiodegradasi oleh jamur pelapuk putih. Contohnya *Pentachlorophenol* (PCP), *dioxins*, *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) dan zat warna azo (*Azo dye*) (Jebapriya & Gnanadoss, 2013).

#### 2.4 Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Degradasi

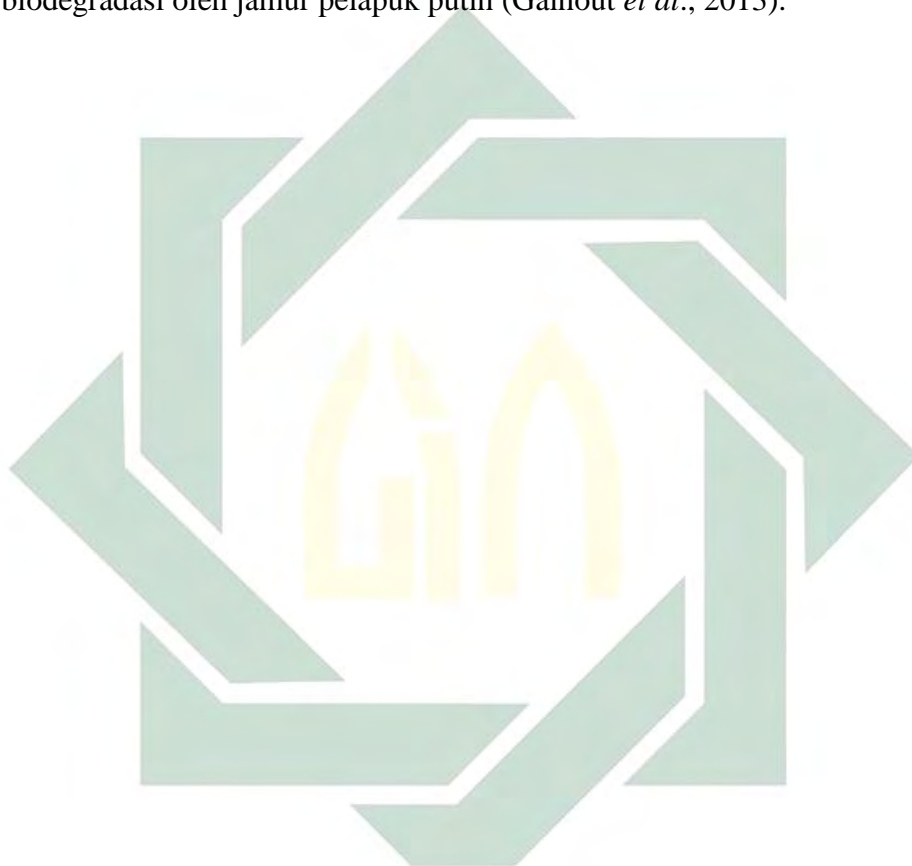
Kemampuan jamur ligninolitik dalam mendegradasi zat warna dipengaruhi beberapa faktor lingkungan seperti sumber karbon, nitrogen, fosfor, pH, suhu, konsentrasi zat warna, dan aerasi (Martina *et al.*, 2015). Kondisi lingkungan yang optimum akan menghasilkan enzim ligninolitik maksimal sehingga proses degradasi akan berjalan maksimal. Setiap penambahan nutrisi memiliki perbedaan yang berdampak pada proses degradasi (Hadibarata *et al.*, 2014).

Sumber karbon dan nitrogen sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur, terutama terhadap konversi biomassa jamur (Ardhina, 2007). Seiring terjadinya proses dekolorisasi zat warna juga terjadi penambahan biomassa jamur (Haedar *et al.*, 2013). Sumber karbon terutama glukosa berperan sebagai kometabolik dan substrat produksi  $H_2O_2$ . Dimana  $H_2O_2$  dianggap sebagai proses awal dekolorisasi dan reaksi katalitik MnP (Hadibarata *et al.*, 2011). Sumber nitrogen dihasilkan jamur dari proses pemutusan ikatan azo ( $-N=N-$ ), namun jika sumber nitrogen berlebih pada media kultur maka jamur akan lebih memilih memanfaatkan sumber nitrogen tersebut dibanding memutuskan gugus azo (Senthilkumar *et al.*, 2011).

Variasi pH medium menghasilkan perubahan bentuk ionik pada sisi aktif enzim, perubahan aktifitas dan berpengaruh pada laju reaksinya.



Perubahan pH juga dapat mengubah bentuk dimensi dari enzim tersebut. Produksi enzim akan maksimal pada pH optimum sehingga memberikan nilai efisiensi degradasi yang tinggi (Muslimah and Kuswytasari, 2013). Kondisi inkubasi diguncang meningkatkan distribusi nutrisi, transfer O<sub>2</sub> di media dan kontak antara jamur dan zat warna serta memacu pertumbuhan sel dan proses biodegradasi oleh jamur pelapuk putih (Galhout *et al.*, 2013).







**Tabel 3.1 Rancangan penelitian**

Ulangan	Perlakuan					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	P <sub>11</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>41</sub>	P <sub>51</sub>	P <sub>61</sub>
2	P <sub>12</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>42</sub>	P <sub>52</sub>	P <sub>62</sub>
3	P <sub>13</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>43</sub>	P <sub>53</sub>	P <sub>63</sub>
4	P <sub>14</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>44</sub>	P <sub>54</sub>	P <sub>64</sub>

(Dokumen Pribadi,2021)

Keterangan:

P1: pewarna *sulfur black*P2: pewarna *vat/ indigosol blue*P3: pewarna *acid orange*P4: pewarna *reaktive black*P5: pewarna *direct blue*P6: pewarna *fast blue b salt*

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan Kimia Dasar, Laboratorium integrasi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Pada tabel berikut terdapat beberapa rancangan kegiatan dalam pelaksanaan penelitian.

**Tabel 3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian**

No	Kegiatan	Bulan											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Persiapan	■											
2	Pembuatan Proposal Skripsi		■	■	■	■							
3	Seminar Proposal			■	■	■							
4	Persiapan Alat dan Bahan				■	■	■						
5	Pembuatan Media					■	■	■					
6	Pengamatan Uji Degradasi						■	■	■	■			
7	Analisis Data							■	■	■			
8	Pembuatan Draf Skripsi									■	■		
9	Sidang Skripsi											■	■

(Dokumen Pribadi, 2021)

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya 24 cawan petri, pengaduk, gelas beaker, *hot plate*, autoklaf, spektrofotometri UV-Vis optima sp-300, kuvet, inkubator jamur, erlenmeyer, jarum ose, LAF (*Laminar Air Flow*), tube, sentrifuse, *scalpel*, bor gabus 1 cm.

Bahan yang digunakan diantaranya yaitu isolat jamur *Phanerochaete chrysosporium* dari Laboratorium Mikrobiologi ITB, akuades, PDA (*potato dextrose agar*), CDB (*Czapeks Dox broth*) (sukrosa,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{FeSO}_4$ ), alkohol 70%, kertas saring *Whatman*, zat warna tekstil; *reaktive black*, *sulfur black*, *direct blue*, *fast blue b salt*, *vat blue*, *acid orange*, plastik wrap, aluminium foil, kertas label, kertas bekas.

### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis pewarna tekstil *fast blue b salt*, *reaktive black*, *sulfur black*, *direct blue*, *acid orange*, dan *indigosol/vat blue*.

#### 3.4.2 Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah perubahan warna dan pengukuran diameter koloni jamur pada media padat. Perubahan warna dan presentase degradasi pewarna pada media cair

### 3.4.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah jamur *Phanerochaete chrysosporium*, konsentrasi pewarna, intensitas cahaya

## 3.5 Prosedur Penelitian

### 3.5.1 Sterilisasi alat dan ruang kerja (LAF)

Alat-alat yang digunakan dicuci terlebih dahulu lalu dikeringkan. Cawan petri dibungkus, mulut erlenmeyer ditutup dengan kapas dan *aluminium foil* di atasnya. Peralatan dimasukkan ke dalam autoclave. Autoklaf *disetting* dengan waktu 20 menit pada suhu  $121^{\circ}\text{C}$ , tekanan 1 atm. Pensterilan ruang kerja (LAF), permukaan meja *Laminar Air Flow* dibersihkan dengan menggunakan tissue yang telah dibasahi oleh alkohol 70%. Alat-alat yang telah disterilkan dimasukkan ke dalam *Laminar Air Flow*. Lampu UV dinyalakan untuk mematikan kontaminasi pada permukaan meja LAF sampai kurang lebih 15-30 menit. Setelah itu, lampu UV dimatikan dan lampu neon dinyalakan. LAF siap untuk digunakan.

### 3.5.2 Pembuatan Media Peremajaan

Media yang digunakan pada media peremajaan isolat jamur yaitu PDA (*potato dextrose agar*). PDA ditimbang sebanyak 0,78 gr. PDA dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 20 ml. PDA yang telah larut diletakkan di atas *hot plate* lalu diaduk sampai mendidih. Setelah itu, disterilkan dalam autoklaf dengan suhu  $121^{\circ}\text{C}$ , tekanan 1.5 atm selama 15 menit. Medium yang telah steril dituang dalam cawan petri.

### 3.5.3 Pembuatan Konsentrasi Pewarna

Konsentrasi larutan pewarna penelitian ini menggunakan 100 mg/L. Zat warna sintetis ditimbang sebanyak 100 mg dengan dilarutkan dengan volume 1 L aquades. kemudian larutan pewarna dihomogenkan.

### 3.5.4 Pembuatan Media Uji Degradasi

Media yang digunakan dalam pengujian degradasi pewarna oleh jamur yaitu menggunakan media padat dan cair. Media padatnya menggunakan PDA (*potato dextrose agar*) dan media cairnya menggunakan CDB (*Czapeks Dox Broth*) instan merk Merck.

PDA ditimbang sebanyak 3,12 gr dengan volume 80 ml aquades lalu dimasukkan kedalam erlenmeyer yang berisi larutan pewarna dengan konsentrasi 100 ppm. Kemudian dihomogenkan dengan dipanaskan diatas *hot plate*. Larutan campuran PDA dan pewarna tekstil disterilkan ke dalam autoklaf dalam keadaan tertutup oleh kapas yang dilapisi aluminium foil dengan suhu 121<sup>0</sup> C, tekanan 1.5 atm selama 15 menit. Setelah larutan media steril, larutan media tersebut dituang ke dalam masing-masing cawan petri. CDB ditimbang sebanyak sukrosa 6,75 gr, NaNO<sub>3</sub> 0,675 gr, K<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub> 0,225 gr, MgSO<sub>4</sub> 0,1125 gr, KCl 0,1125 gr, FeSO<sub>4</sub> 0,0025 gr dengan volume 225 ml larutan pewarna lalu dimasukkan kedalam erlenmeyer. Larutan CDB disterilkan ke dalam autoklaf dalam kondisi tertutup dengan kapas yang dilapisi oleh aluminium foil dengan suhu 121<sup>0</sup>C selama 15 menit. Media cair didinginkan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar (Wuryanti, 2008).











dengan pewarna *reactive black*, pada hari ke-0 berwarna hijau kebiruan lalu pada hari ke-15 berubah menjadi *orange* muda kehitaman dan pada hari ke-30 juga menjadi putih pucat.

Pewarna *fast blue b salt* juga seperti itu, pada hari ke-0 berwarna orange muda pucat lalu pada hari ke-15 berubah menjadi kuning keputihan dan pada hari ke-30 juga menjadi putih pucat. Pewarna *sulfur black*, pada hari ke-0 berwarna abu-abu kehitaman lalu pada hari ke-15 berubah menjadi abu-abu muda keruh dan pada hari ke-30 menjadi putih keruh. Tetapi, pada warna *vat blue*, pada hari ke-0 berwarna biru muda keabuabuan pekat lalu pada hari ke-15 berubah menjadi biru abu-abu muda keputihan dan pada hari ke-30 menjadi biru hijau muda keputihan. Pada pewarna *direct blue*, pada hari ke-0 berwarna ungu muda pekat lalu pada hari ke-15 berubah menjadi ungu muda keabuabuan pucat dan sampai hari ke-30 menjadi abu-abu muda kecoklatan pucat.

Pada pengamatan morfologi koloni (Tabel 4.1) terjadi perubahan warna pada media yang semakin memudar dari pengamatan hari ke-15 sampai hari ke-30 sampai putih pucat. Perubahan warna tersebut juga terjadi pada miselium jamur (tabel 4.2) yang semula berwarna putih menjadi orange, biru muda, ungu muda, abu-abu, orange muda pucat, dan hijau muda kebiruan. Perubahan dari warna media dan miselium jamur dikarenakan adanya proses penyerapan zat warna tekstil oleh miselium jamur. Penyerapan zat warna telah dilaporkan sebelumnya oleh Munir *et al*, (2017) bahwa jamur Basidiomycetes asal Gunung Barus tumbuh di bagian bawah media kultur dan jamur menyerap seluruh zat warna limbah batik yang menyebabkan warna miselium menjadi gelap.

Menurut Blaquez *et al*, (2004) penyerapan miselium sebagai tanda dalam penurunan zat warna, diikuti dengan pemecahan ikatan kompleks pewarna oleh enzim ekstraseluler yang berperan dalam degradasi pewarna secara enzimatik. Studi sebelumnya juga mekanisme penyerapan berperan penting dalam degradasi, namun penyerapan zat warna oleh miselium dalam degradasi sangat rendah karena penyerapannya hanya menyumbang 5-10% dari total degradasi zat warna seperti pada penyerapan zat warna oleh miselium *T.versicolor* (Fu and Viraraghavan *et al.*, 2001).

Fu and Viraraghavan *et al*, (2001) melaporkan bahwa absorpsi pewarna ke permukaan sel mikroba adalah mekanisme utama degradasi. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa zat warna terdegradasi disebabkan adanya aktivitas penyerapan (absorpsi) zat warna oleh miselium jamur yang dibuktikan dengan perubahan warna miselium jamur yang menyerap masing-masing jenis pewarna tekstil, produksi enzim ekstraseluler oleh jamur yang diterapkan, dan besar kecilnya diameter koloni jamur selama proses degradasi di dalam medium (Rosyida *et al.*,2013).

Perubahan warna media dan miselium jamur pada setiap jenis pewarna tersebut menunjukkan adanya proses degradasi pewarna dari hari ke hari. Menurut Wilkolazka *et al*, (2002) menyatakan bahwa mekanisme degradasi oleh jamur *P.chrysosporium* dibagi menjadi dua, yaitu secara enzimatik dan non enzimatik. Degradasi secara enzimatik yaitu melalui aktivitas enzim ekstraseluler dalam biodegradasi zat warna melalui pemutusan ikatan aromatik yang terdapat pada pewarna.

Enzim yang berperan kemungkinan yaitu enzim lignolitik, *P.chrysosporium* menggunakan lignin peroksidase (LiP) secara dominan dalam memudarkan zat warna (Jebapriya & Gnanadoss, 2013). Enzim lignolitik berfungsi untuk memineralisasi atau memecahkan ikatan senyawa aromatik warna kompleks sehingga terjadi pemudaran warna. Jamur *P. chrysosporium* sejauh ini merupakan mikroorganisme yang paling efisien dalam memecah pewarna sintetis karena memiliki sistem degradasinya non-spesifik dari enzim pengurai lignin yang mampu mendegradasi berbagai macam polutan organik misalnya senyawa fenolik dan pewarna sintetis (Ghasemi *et al.*, 2010).

Degradasi warna secara non-enzimatis, yaitu terjadinya absorpsi pewarna oleh dinding sel jamur. Dinding sel jamur *P. chrysosporium* mengandung matriks senyawa ekstraseluler yang tersusun dari berbagai macam senyawa organik, yaitu enzim, protein, dan polisakarida. Dinding sel jamur *P. chrysosporium* juga mengeluarkan gel yang berfungsi sebagai perekat dan mampu menyerap zat warna pada media. Miselium jamur bersifat hidrofobik dan zat warna bersifat hidrofilik, sehingga dengan adanya gel yang dikeluarkan oleh jamur. Hal tersebut dapat memacu interaksi hidrofobik & hidrofilik miselium jamur dan pewarna mengalami mekanisme absorpsi sehingga menyebabkan miselium bisa berubah warna menjadi warna yang diserapnya atau bahkan lebih muda (Wulandari, 2014).

Pada penelitian ini media pewarna paling memudar dan paling menyerap miselium yaitu pewarna *acid orange* dan pewarna *direct blue*. Hal tersebut menyatakan bahwa aktivitas jamur ekstraselulernya menggunakan









menghasilkan perbedaan signifikan antar perlakuan dan dinyatakan  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Berdasarkan hasil tersebut, dilanjutkan uji lanjutan yaitu uji *Post hoc* dengan menggunakan metode *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui pasangan perlakuan mana yang paling beda yang nyata diantara pasangan yang lain. Hasil uji DMRT, terdapat perbedaan yang signifikan pada pewarna *acid orange* dengan pewarna *vat blue*, *direct blue*, dan *reactive black*. Hasil tersebut membuktikan bahwa diameter koloni jamur berpengaruh dalam degradasi pewarna.

Pada penelitian Menurut Ilmi and Kuswytasari (2013), mengenai aktivitas enzim lignolitik pada medium padat. Jamur mungkin dapat menghasilkan enzim namun aktivitasnya kecil sehingga zona bening tidak terlihat dibawah koloni dan juga adanya perubahan aktivitas pertumbuhan jamur. Pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, pertumbuhan jamur akan terhambat bahkan mati. Pada kondisi lingkungan yang menguntungkan dan cocok maka aktivitas enzim berlangsung optimal sedangkan pada kondisi yang kurang menguntungkan atau cocok maka aktivitas enzim mengalami penurunan (Howard *et al.*, 2003).

#### **4.2 Uji Degradasi Pewarna Tekstil Pada Media Cair**

Uji degradasi pada media cair menggunakan CDB untuk melihat jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam menurunkan intensitas warna pada konsentrasi 100 mg/L. Penggunaan konsentrasi 100 mg/L yaitu konsentrasi paling optimal untuk degradasi pewarna karena semakin tinggi konsentrasi maka semakin jenuh aktivitas enzim jamur dalam mendegradasi dan



persentase sedang, sedangkan pewarna *acid orange* memperoleh presentase rendah. Hasil uji persentase degradasi dianalisis statistik SPSS 16.0 (Lampiran 4). Uji analisis ini diawali dengan uji normalitas dan diperoleh nilai sig > 0,05 yang terlihat pada *Shapiro-Wilk* artinya data tersebut terdistribusi normal.

Tahap selanjutnya yaitu melakukan uji *Homogeneity of Varians*. Hasil uji homogenitas diperoleh nilai sig sebesar 0,052 artinya data homogen karena nilai sig. > 0,05 terdapat varian dari dua atau lebih kelompok data yang sama (homogen) (Joko, 2010). Selanjutnya dilakukan uji *One Way Anova*. Nilai F pada analisis uji *One Way Anova* bertujuan untuk membandingkan nilai rata-rata yang terdapat pada variabel terikat di semua kelompok yang dibandingkan. Pada penelitian ini didapatkan hasil uji anova pada nilai F sebesar 22,280 dan nilai sig sebesar  $0,000 < 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata presentase degradasi keenam pewarna berbeda secara signifikan dan dinyatakan  $H_0 \neq$  (ditolak) dan  $H_1$  diterima.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka dilanjutkan uji *Post Hoc* dengan menggunakan metode *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Uji tersebut dilakukan untuk mengetahui dari pasangan perlakuan mana yang paling berbeda nyata di antara pasangan yang ada. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa ada perbedaan antar pasangan pewarna secara signifikan seperti pada pasangan pewarna *vat blue* dan *direct blue* berbeda nyata terhadap pasangan pewarna *acid orange* dan *reactive black*. Pasangan Pewarna *fast blue b salt* dan *sulfur black* juga memiliki hasil yang berbeda nyata terhadap seluruh pewarna. Hal ini menyatakan bahwa jamur *Phanerochaete chrysosporium* berpengaruh terhadap presentase degradasi pewarna tekstil. .



miselium jamur yang maksimal. Pewarna *sulfur black* memiliki ikatan kimia sulfida (-S-) yang termasuk senyawa kimia anorganik yang memiliki struktur sederhana dan memiliki berat molekul yang kecil sehingga jamur *P.chryso sporium* lebih mudah dan cepat dalam merombak struktur pewarna dan memanfaatkan pewarna sebagai nutrisi. Pada media PDA dan CDB didalamnya mengandung sumber nitrogen seperti protein dan  $\text{NaNO}_3$  untuk mensintesis asam amino dan dilanjutkan untuk mensintesis protein yang membentuk protoplasma, struktur sel, serta enzim-enzim yang dibutuhkan untuk metabolisme jamur itu sendiri (Ashari,2013).

Pada proses degradasi pewarna tersebut kemungkinan juga terjadi pemecahan struktur ikatan kimia organik kompleks pada pewarna *sulfur black*. Pewarna *sulfur black* mengandung ikatan sulfida (-S-) yang tersulfurasi disintesis dengan cara pemanasan aromatik amina, fenol atau nitro sulfur atau alkali sulfur menjadi struktur ikatan kimia sederhana dengan bantuan enzim ekstraseluler jamur *P. chryso sporium* seperti lignin peroksidase & mangan peroksidase. Peroksidase menghasilkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang merupakan oksidator kuat yang bekerja tidak spesifik yang dapat mengoksidasi berbagai macam senyawa aromatik dari zat warna menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga zat warna terdegradasi (Dhinata *et al.*, 2013).

Pada penelitian ini aktivitas jamur *P.chryso sporium* dalam mendegradasi pewarna tekstil juga memperoleh hasil terendah persentase degradasi pewarna *acid orange* pada media cair sebesar 16,53%, namun pertumbuhan jamur dengan pengukuran diameter koloni jamur memperoleh hasil tertinggi sebesar 8,8 cm pada media padat. Hal tersebut diduga degradasi

pewarna pada media cair, aktivitas enzim lignolitik pada struktur molekul sisi aktif enzim tidak dapat mengkatalisis penguraian zat warna dan terjadi perubahan struktur ion asam amino penyusun protein enzim sehingga mengganggu aktivitas katalitik enzim dalam proses degradasi (Asih, 2016).

Hal tersebut mungkin juga karena *acid orange* memiliki berat bobot molekul yang sangat besar sehingga dapat menghambat proses degradasi. Selain itu *acid orange* memiliki ikatan tak jenuh / ikatan rangkap sehingga zat warna tidak berhasil tereduksi. Pada penelitian hasri *et al*, (2018) dalam biodegradasi pewarna *acid orange* juga memperoleh hasil presentase degradasi yang rendah sebesar 59,36%. Hal tersebut diduga pewarna *acid orange* membutuhkan waktu yang lama dalam mendegradasi karena aktivitas jamur dalam mendegradasi zat warna juga dipengaruhi oleh lama waktu kontak/interaksi antara jamur dengan zat warna. Hal tersebut terbukti pada penelitian ini, proses degradasi pewarna *acid orange* oleh jamur *P.chrysosporium* pada media padat terjadi perubahan warna yang signifikan dan diameter koloni pertumbuhan jamur sebesar 8,8 cm selama 30 hari. Waktu kontak optimum zat warna ditentukan dari nilai besarnya diameter koloni jamur dan persentase degradasi yang paling besar (Indriati, 2011).

Pada penelitian ini proses degradasi yang terjadi diduga karena adanya aktivitas metabolisme jamur dalam mendegradasi secara sistem enzimatik dan sistem non enzimatik. Sistem enzimatik yaitu melalui aktivitas enzim ekstraseluler yang terlibat dalam biodegradasi zat warna serta dalam penghilangan zat warna melalui pemutusan ikatan aromatik yang terdapat pada pewarna. Penghilangan zat warna tersebut diduga dimanfaatkan sebagai sumber



nutrisi alternatif oleh enzim ligninolitik *P.chrysosporium* melalui aktivitas katalitik enzim sehingga pewarna terdegradasi. Menurut Singh (2006), enzim ekstraseluler tersebut meliputi LiP, MnP dan lakase.

Sistem non enzimatik yaitu melalui adsorpsi pewarna oleh dinding sel jamur. Dinding sel jamur *P. chrysosporium* mengandung matriks senyawa ekstraseluler yang tersusun dari berbagai macam senyawa organik, yaitu enzim, protein, dan polisakarida. Dinding sel jamur *P. chrysosporium* juga mengeluarkan gel yang berungsi sebagai perekat dan mampu menyerap zat warna pada media (Wulandari *et al*, 2014).

Metabolisme jamur dalam mendegradasi pewarna terjadi pada fase stasioner dimana fase ini jamur mengeluarkan metabolit sekunder (sisa-sisa metabolisme) yaitu enzim ekstraseluler (Kaushik and Malik, 2009). Pada fase inilah enzim dari jamur *P.chrysosporium* menggunakan substrat hingga habis dikarenakan lisisnya pada sel mati lalu menggunakan pewarna sebagai sumber nutrisi (karbon dan nitrogen) (Ramalho *et al.*, 2004).

Allah menciptakan segala sesuatu pasti dengan fungsi dan rancangan yang tepat dan tidak ada satupun yang diciptakan-Nya sia-sia. Adanya berbagai makhluk hidup yang diciptakan oleh Allah pada semesta alam ini, termasuk tanda-tanda ke-Esaan Allah karena setiap sesuatu yang dirancang, diciptakan pasti memiliki faedah yang berguna bagi ketentraman manusia. manusia sudah sepantasnya untuk memikirkan penciptan-Nya dengan salah satunya mengobservasi alam yang luas ini dalam memperoleh penemuan baru dalam memperdalam ilmu yang seiring dengan Al-Quran. Sebagaimana dalam firman Allah surat Ali-imron ayat 190-191:





Hal ini dipahami dari sabda Rasulullah Saw. yang diriwayatkan oleh Abu Nu'aim melalui Ibnu Abbas: "*Berpikirlah tentang makhluk Allah dan jangan berpikir tentang Allah*".

Quraish Shihab memahami kalimat tersebut sebagai hasil dzikir dan pikir, dengan demikian ia tidak dapat dihadang oleh keberatan di atas. Di sisi lain, hasil itu akan sangat serasi dengan permohonan mereka selanjutnya. Yakni karena semua makhluk tidak diciptakan sia-sia.

Manusia diperintahkan untuk menuntut ilmu agar mereka menelaah segala yang telah diciptakan oleh Allah. Pada era zaman sekarang, seiring dengan kemajuan teknologi juga manusia dapat mempelajari manfaat ciptaan Allah dengan mudah baik itu tumbuhan, hewan, dan makhluk hidup lainnya. Semua makhluk hidup bisa dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia salah satunya adalah jamur yang dapat digunakan sebagai agen biodegradasi yang mampu mendegradasi komponen warna yang bersifat toksik melalui pemecahan struktur kimia oleh enzim yang dihasilkan dari jamur tersebut dan mempunyai kemampuan untuk transformasi, yaitu mengubah bahan kimia yang berbahaya menjadi kurang atau tidak berbahaya (Yulita *et al.*, 2013).





- Blanquez P, Casas N, Font X, Gabarrell X, Sarra M, Caminal G, Vicent T, 2004. Mechanism of Textile Metal Dye Biotransformation by *Trametes versicolor*. *Water Research*, 38: 2166–2172.
- Bollag, W. 1992. *Biodegradation in Encyclopedia of Microbiology*. Academic Press Inc, New York.
- Cahyadi, Wisnu. 2006. *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*. PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Campos, R., Kandelbauer, A., Robra, K. H., Cavaco-Paulo, A., and Gubitzi, G. M. 2001. Indigo degradation with purified laccases from *Trametes hirsuta* and *Sclerotium rolfsii*. *J. Biotechnol*, 89: 131-139.
- Carmen, Z., and Daniela, S. 2012. *Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effect and Separation/ Elimination Procedures from Industrial Effluents – Acritical Overview*. In T. Puzyn (ed.). *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention – Environmental and Analytical Update*. Rijeka, InTech Europe.
- Chequer, F. M. D., de Oliveira, G. A. R., Ferraz, E. R. A., Cardoso, J. C., Zanoni, M. V. B., and de Oliveira, D. P. 2013. Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact. In Gunay, M. (ed). *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*, InTech.
- Danrea, Z., Barbara, G., Astrid, R., Artur, C. 2005. Degradation of azo dyes by *Trametes villosa* laccase over long periods of oxidative conditions. *Applied environment microbiology*.pp.217-227
- Daranindra, F. R. 2010. *Perancangan Alat Bantu Proses Pencelupan Zat Warna dan Pencucian Warna Pada Kain Batik Sebagai Usaha Mengurangi Interaksi Dengan Zat Kimia dan Memperbaiki Postur Kerja (Studi kasus: Batik Brotoseno Marsaran, Seragen)*. Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Dharajiya, D., Shah, M., & Bajpai, B. 2016. Decolorization of Simulated Textile Effluent by *Phanerochaete chrysosporium* and *Aspergillus fumigatus* A23. *Nature Environment and Pollution Technology*, 15(3), 825.
- Dhinata NM, Sibarani J, Mahardika IG, 2013. Degradasi Limbah Tekstil Menggunakan Jamur Lapuk Putih *Daedaleopsis eff. confragosa*. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(2): 2-8.
- Dyah, S., and Adi, S. E. 2010. Optimalisasi Konsentrasi *Phanerochaete chrysosporium* Pada Biosorpsi Ion Logam Pb dalam Limbah Cair Elektroplating. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Fakultas Teknik Industry, UPN, Jawa Timur.



- Eris, R. 2006. Pengembangan Teknik Bioremediasi Dengan Slurry Bioreaktor Untuk Tanah Tercemar Minyak Diesel. *Thesis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Enayatizamira, N., Tabandeh, F., Rodríguez-Couto, S., Yakhchali, B., Alikhani, H. A., and Mohammadi, L. 2011. Biodegradation pathway and detoxification of the diazo dye *Reactive Black 5* by *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*, 102: 10359–10362.
- Farouk, R., and Gaffer, H. E. 2013. *Carbohydrate Polymers*. 138-142.
- Fitria, D. E. 2015. Penurunan Krom (Cr) Pada Limbah Cair Batik Dengan Arang Sekam Padi. *Skripsi*. Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember, Jember.
- Fu Y, Viraraghavan T, 2001. Fungal decolorization of dye wastewaters: Review. *Bioresource Technology*, 79: 251-262.
- Gahlout M, Gupte S, Gupte A, 2013. Optimization of Culture Condition for Enhanced Decolorization and Degradation of Azo Dye Reactive Violet 1 with Concomitant Production of Ligninolytic Enzymes by *Ganoderma cupreum* AG-1. *Biotechnology*, 12(3): 3-9.
- Ghasemi, F., Tabandeh, F., Bambai, B., Sambasiva, R. K. R. S. 2010. Decolorization of Different Azo Dyes by *Phanerochaete chrysosporium* RP78 Under Optimal Condition. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 7(3): 457-464.
- Gul, U. D. 2013. Treatment of dyeing wastewater including reactive dyes (Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue) and Methylene Blue by fungal biomass. *Water SA*, 39: 593 - 598.
- Hadibarata T, Yusoff ARM, Aris A, Kristanti R A, Hidayat T, Yuniarto, 2011. Effects of Glucose on the Reactive Black 5 (RB5) Decolorization by Two White Rot Basidiomycetes. *Water Air Soil Pollut*, 43(3): 179-186.
- Hadibarata, T., Adnan, L. A., Yusoff, A. R. M., Yuniarto, A., Rubiyatno., Zubir, M. M. F. A., Khudhair, A. B., Teh, Z. C. and Naser, M. A. 2013. Microbial decolorization of an azo dye Reactive Black 5 using white-rot fungus *Pleurotus eryngii* F032. *Journal Water, Air, & Soil Pollution*, 224:1595.
- Hadibarata T, Nor NM. 2014. Decolorization and Degradation Mechanism of Amaranth by *Polyporus* sp. S133. *Bioprocess Biosystem Engineering*, 37: 1879-1885.
- Haedar N, fahrusin, Abdullah A, Syam NA, Talessang NH, 2017. *Dekolorisasi Dan Degradasi Limbah Zat Warna Naftol Oleh Jamur Dari Limbah Industri Batik*. Makassar: UNHAS: 1-10.

- Hasri., Sudding., and Amiruddin, A. 2018. Biodegradasi Zat Warna Acid Orange 7 Menggunakan Enzim Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Kimia Riset*, 3(1): 47-51.
- Hatakka A. 2001. Biodegradation of lignin. In: Steinbüchel A. Biopolymers. *Lignin, Humic Substances and Coal*, 1: 129-180.
- Howard, L., Abotsi L., Jansen, R. E. and Howard S. 2003. Lignocellulose Biotechnolog: Issues of Bioconcerision and Enzyme Production. *African Journal Biotechnology*. 2 : 602-619.
- Hunger, K. 2003. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications*, Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, German.
- Jebapriya, G. R., & Gnanadoss, J. J. 2013. Bioremediation of Textile Dye Using White Rot Fungi: A review. *International Journal of Current Research and Review*, 5(3), 1.
- Ilmi, I. M., dan Kuswytasari, N. D. 203. Aktifitas Enzim Lignin Peroksidase oleh Gliomastix sp. T3.7 pada Limbah Bonggol Jagung dengan Berbagai pH dan Suhu,” *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2 (1): 2337-3520 (2301-928X Print). Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya.
- Indriyani. 2003. *Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Adsorben Sekam Padi*. Tugas Akhir II. FMIPA UNNES, Semarang.
- Indriati, A. 2011. Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Acid Orange 7 dengan Agl/TiO<sub>2</sub> dan Sinar UV. *Skripsi*. FMIPA UI, Jakarta.
- Joko, W. 2010. *SPSS for Windows untuk Analisis Data Statistik & Penelitian*. Badan Penerbit FKIP UNS, Surakarta.
- Kaushik, P., and Malik, A. 2009. Fungal dyedecolorization: Recent advances and future potential. *Environment International*, 35: 127-141.
- Kandelbauer, A., and Guebitz, G. M. 2005. Bioremediation for the decolorization of textile dyes-a review. In Dr. E. Lichtfouse, Dr. J. Schwarzbauer, Dr. D. Robert (Eds.), *Environmental chemistry: green chemistry and pollutants in ecosystems*. Berlin, Springer.
- Kapich, A. N., Jensen, K. A., & Hammel, K. E. 1999. Peroxyl radicals are potential agents of lignin biodegradation. *FEBS Letters*, 461: 115–119.
- Karigar, C. S., & Rao, S. S. 2011. Role of microbial enzymes teh bioremediation of pollutants: a review. *Enzyme Research*, doi:10.4061/2011/805187.



- Khoirudin, M. 2015. Biodegradasi Pewarna Tekstil Metil Orange Oleh Jamur Pelapuk Coklat *Gloeophyllum trabeum*. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Kiran, S., Ali, S., Asgher, M., and Anwar, F. 2012. Comparative Study on Decolorization of Reactive Dye 222 by White Rot Fungi *Pleurotus Ostreatus* IBL-02 & *Phanerochaete chrysosporium* IBL-03. *African Journal of Microbiology Research*, 6(15) : 3639-3650.
- Kunjadia, P. D., Patel, F. D., Nagee, A., Mukhopadhyaya, P. N, and Dave, G. S. 2012. Biotechnology & Biotechnological Equipment. *Bioresource*. 7(1): 4-9.
- Manurung, R., Hasibuan, R., dan Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. Repository USU, Sumatera.
- Marimuthu, T., Rajendran, S., and Manivannan, M. 2013. A review on bacterial degradation of textile dyes. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 3: 201-212.
- Martina A, Roza RM, Sirait JM, 2015. Biodegradasi Pewarna Azo Mordant Black 17 Oleh *Ganoderma* sp. Bta1 Isolat Lokal. Prosiding Semirata 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat Universitas Tanjungpura Pontianak: 10 – 18.
- Mikrobewiki. 2008. Struktur Mikroskopis Miselia *Phanerochaete chrysosporium* Hasil Scanning Electron Micrograph (sem). Retrieved 17 Maret, 2017 from <https://microbewiki.kenyo.edu/index.php/file:040504062021.jpg>.
- Minussi, R. C., Demoraes, S. G., Pastore G. M., and Duran, N. 2001. Biodecolorization screening of synthetic dyes by four white rot fungi in a solid medium: possible role siderophores. *Lett. Appl. Microb*, 33(1): 21-25.
- Munir E, Priyani N, Suryanto D, and Naimah, Z. 2017. Potential of Basidiomycetous Fungi Isolated from Gunung Barus Forest North Sumatera. *Materials Science and Engineering* 180: 6.
- Muslimah, S., and Kuswytasari, N. D. 2013. Potensi Basidiomycetes Koleksi Biologi ITS sebagai Agen Biodekolorisasi Zat Warna RBBR. *Jurnal sains dan senipomits*, 2(1): 235-238.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2017. *Phanerochaete chrysosporium* Taxonomy 10: 5306. Retrieved 12 Maret, 2017, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=info&id=5306&|v|=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>.

- National Center for Biotechnology Information. 2021. PubChem Compound Summary for CID 44148500, Fast Blue Salt B. Retrieved July 25, 2021 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Fast-Blue-Salt-B>.
- National Center for Biotechnology Information. 2021. PubChem Compound Summary for CID 173141, C.I. Soluble Sulphur Black 1. Retrieved August 1, 2021 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/C.I.-Soluble-Sulphur-Black-1>.
- Nisrina, L. F. Z., Aryani, L., and Hartini, E. 2020. Status Mutu Air Sungai Gede Kabupaten Jepara. *VISIQUES*, 19 (1).
- Nugroho, and Sigit. 2013. Elektrodegradasi Indigosol Golden Yellow Irg Dalam Limbah Batik dengan Elektroda Grafit. *Skripsi*. Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Patel, H., and Vashi, R. T. 2015. Characterization and Treatment of Textile Wastewater. *Elsevier*, 3-5.
- Porri, A., Baroncelli, R., Guglielminetti, L., Sarrocco, S., Guazzelli, L., Forti, M., Catelani, G., Valentini, G., Bazzichi, A., Franceschi, M., and Vannacci, G. 2011. *Fusarium oxysporum* degradation and detoxification of a new textile-glycoconjugate azo dye (GAD). *Fungal biology*, 115: 30-37.
- Purnomo, A. S., Mori, T., dan Kondo, R. 2010. Involvement of Fenton reaction in DDT degradation by brown-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 64, hl. 560-565.
- Qodri, A. 2011. "Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>", *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- Rahayu, Vina. 2018. Kemampuan Jamur Lignolitik Dalam Mendekolorisasi Zat Warna Tekstil Batik Naftol. *Skripsi*. Jurusan biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rajaguru, P., Vidya, L., Baskarathupathi, B., Kumar, P. A., Palanivel, M. 2002. *Research / Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 29-37.
- Ramalho, P. A., Cardoso, M. H., Cavaco-Paulo, A., Ramalho, M. T. 2004. Characterization of Azo Reduction Activity in a Novel Ascomycota Yeast Strain. *Applied and Environmental Microbiology*, 70 (4): 2279-2288.
- Reddy, C. A., and Mathew, Z. 2001. *Bioremediation Potential of White Rot Fungi*. In: *gadd gm (ed) fungi in bioremediation*. Cambridge Univ Press: Cambridge.

- Rosyida, V. T., Darsih, C., Wahono, S. K. 2013. "Pretreatment Ampas Tebu (Bagas) Menggunakan Empat Jamur Pelapuk Putih dan Karakteristik Pertumbuhannya". Seminar *Nasional Pendidikan Kimia V UNS*.
- Saraswati, Y. W., Haeruddin., and Purwanti, F. 2014. Sebaran Spasial dan Temporal Fenol, Kromium dan Minyak di Sekitar Sentra Industri Batik Kabupaten Pekalongan. *DIPONEGORO JOURNAL OF MAQUARES*, 3 (1):186-192
- Sastrawidana, A. D., Santosa., Bibiana., Fauzi, A. M. 2008. Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Lokal untuk Bioremediasi Limbah Tekstil Menggunakan Sistem Kombinasi Anaerob-aerob. *Jurnal Ilmiah Nasional Berita Biologi*, 9(2): 123-132.
- Senthilkumar S, Perumalsamy M, Prabhu HJ. 2011. Decolourization Potential of White-Rot Fungus *Phanerochaete Chrysosporium* on Synthetic Dye Bath Effluent Containing Amido Black 10B. *Journal of Saudi Chemical Society*, 10(10): 846-852.
- Sharma, P., Singh, L., and Dibaghi, N. 2009. Biodegradation of Orange II Dye by *Phanerochaete chrysosporium* in Simulated Wastewater. *Journal of Scientific Industrial Research*, 68: 157-161.
- Singh, H. 2006 . Mycoremediation. Jhon Wiley and Sons, Inc: America.
- Singh, S. N (Ed). 2015. Microbial Degradation of Synthetics Dyes in Wastewater. *Springer International Publishing Switzerland*, Switzerland.
- Si Hui Chen., Cheow, Y. I., Si Ling Ng., and Su Yien Ting, A. 2019. Biodegradasi Pewarna Triphenylmethane Oleh Non- white Rot Fungus *Penicillium simplicissimum*: Studi Enzimatik dan Toksisitas. *Jurnal Internasional Penelitian Lingkungan*, 13(2): 273-282.
- Sumahandriyani, P. dan Surakarta, N. 2008. *Pengaruh Konsentrasi Ammonium Sulfat Optimasi Jamur Jerami untuk Biodegradasi Zat Warna*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Sumarko, Heru Teguh., Sri Lestari dan Ratna Stia Dewi. 2013. Deodorisasi Limbah Cair Batik Menggunakan Limbah Baglog *Pleurotus ostreatus* dengan Kombinasi Volume dan Waktu Inkubasi Berbeda. *Molekul*, 8(2).
- Susana, C., David, I., Maria, J., Angel, T.M.2005. Lignin-derived compounds as efficient laccase mediators for decolourization of different types of recalcitrant dyes. *Applied environmental microbiology*.pp, 1775-1784.
- Teli, M. D., Paul, R., and Pardeshi, P. D. 2001. Liquid Dyes: Preparation, Properties and Applications. *Asian Textile Journal*, 72-79.

- Ulfi, Aulia., Purnomo, A. S., dan Putri, E. M. M. 2014. Biodegradasi Metilen Biru Oleh Jamur Pelapuk Coklat *Fomitopsis pincicola*. *Jurnal Seni dan Sains*, 2(1): 1-4.
- Widjajanti, E., Regina, T. P., dan Pranjoto, M.U. 2011. *Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian. Pendidikan dan Penerapan MIPA. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- Wikolazka, A.J., Dest J.K.R., Malarczky E., Wardas W., Leo Nowicz A. 2002. Fungi and Their Ability to Decolorization Azo and Anthraquinone Dyes. *Enzyme and Microbial Technology*, 30, 566-572.
- Winarno, F. G. 2004. *Kimia Pangan & Gizi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- 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.
- Yahdiana. 2011. *Studi Degradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Suspensi TiO<sub>2</sub>* (Skripsi). FMIPA UI. Depok
- Yani, M., Fauzi, A., dan Aribowo, F. 2003. *Bioremediasi Lahan Terkontaminasi Senyawa Hidrokarbon*. Forum Bioremediasi IPB, Bogor.
- Yaropolov, A. I, Skorobogatko, O. V, Vartanov SS, Varvolomeyev, S. D. 1994. Catalytic mechanism of laccase. *Journal Biochem and Biotechnol*, 49: 257-280.
- Yesiladah, S. K., Pekin, G. L., Bermek, H., Alaton, I. A., Orhon, D., and Tamerler, C. 2006. Bioremediation of Textile Azo Dyes by *Trichophyton rubrum* LSK-27. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 22: 1027-103.
- Yulita, A., Lestari, S., and Dewi, R. S. 2013. Dekolorisasi Limbah Cair Batik Menggunakan Miselium Jamur yang Diisolasi dari Limbah Baglog *Pleurotus ostreatus*. *Biosfera*, 30(2): 91.
- Zille, Andrea., Barbara, Gornacka., Astrid, Rehorek., and Artur Cavaco-Paulo. 2005. Degradation of Azo Dyes by *Trametes villosa* Laccase over Long Periods of Oxidative Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(11).