### 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 : Maziyatul 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 penyataan keaslian ini saya buat sebenar-benarnya.

Surabaya, 10 Agustus 2021

Yang menyatakan,

Maziyatul lailiyah H01217009

#### HALAMAN PERSETUJUAN

#### HALAMAN PERSETUJUAN

#### **SKRIPSI**

### UJI POTENSI ISOLAT JAMUR Phanerochaete chrysosporium DALAM BIODEGREDASI BEBERAPA bvPEWARNA TEKSTIL SINTETIS

Diajukan Oleh:

Maziyatul Lailiyah NIM: H01217009

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan di Surabaya, 4 Agustus 2021

Dosen Pembimbing Utama

**Dosen Pembimbing** 

**Pendamping** 

Eva Agustina, M.Si NIP. 198908302014032008 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

Penguji II

Eva Agustina, M.Si NIP. 198908302014032008

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

Penguji III

Penguji IV

<u>Dedy Suprayogi! M.KL</u>

NIP. 1985121112014031002

NIP. 198<del>1</del>02282 14032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

RIANIN Sunan Ampel Surabaya

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	: Maziyatul Lailiyah
NIM	: H01217009
Fakultas/Jurusan	: SAINS DAN TEKNOLOGI/ BIOLOGI
E-mail address	: maziyalaily@gmail.com
Perpustakaan UIN karya ilmiah :  Sekripsi  (yang berjudul : UJI POTENSI	Igan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas  Tesis  Desertasi  Lain-lain)  ISOLAT JAMUR Phanerochaete chrysosporium DALAM I BEBERAPA PEWARNA TEKSTIL SINTETIS
ini Perpustakaan media/format-kan mendistribusikann lain secara <i>fulltex</i>	yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), ya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media tuntuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya cantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit.
Saya bersedia untu	k menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan

Surabaya, 14 Agustus 2020

/ |\www.

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.

#### **ABSTRAK**

### UJI POTENSI ISOLAT JAMUR Phanerochaete chrysosporium DALAM BIODEGREDASI BEBERAPA PEWARNA TEKSTIL SINTETIS

Zat warna sintetis merupakan zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil. Pewarna sintetis ini dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan karena menghasilkan limbah yang mengandung bahan kimia berbahaya dan tidak mudah terurai secara hayati. Oleh karena itu, diperlukan alternatif baru dengan menggunakan metode biologis yang disebut biodegradasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jamur Phanerochaete chrysosporium dalam mendegradasi beberapa pewarna tekstil sintetis. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan menggunakan 4 ulangan untuk setiap jenis pewarna tekstil yaitu fast blue B salt, reaktif hitam, indigosol/tong blue, acid orange, direct blue, dan sulfur black dengan konsentrasi 100 mg/L. Uji degradasi zat warna tekstil sintetik menggunakan media padat dan media cair. Media padat untuk mengetahui perubahan warna dari hari ke hari dan untuk mengetahui pertumbuhan jamur dengan mengukur diameter koloni jamur. Pada media cair untuk melihat penyerapan war<mark>na dan p</mark>enuru<mark>nan int</mark>ensitas zat warna menggunakan spektrofotometer UV-Vis, kemudian dihitung persentase penurunan nilai absorbansinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada media padat perhitungan diameter koloni jamur dan pada media cair persentase degradasi mendapatkan perbedaan yang signifikan untuk masing-masing zat warna. Hasil analisis statistik One Way Anova menunjukkan nilai sig < 0,05. Uji media padat menunjukkan bahwa jamur P. chrysosporium mampu mendegradasi semua jenis zat warna pada konsentrasi 100 mg/L dengan perubahan semua jenis warna pada hari ke-15 pengamatan dan warna memudar menjadi putih pucat pada hari ke-30. hari pengamatan. Zat warna tertinggi terdapat pada zat warna hitam belerang 88,01% dan terendah pada zat warna jingga asam 16,53%.

**Kata kunci**: *Phanerochaete chrysosporium*, Biodegradasi, Pewarna Sintetis, Presentase Degradasi.

#### **ABSTRACT**

### POTENTIAL TEST OF *Phanerochaete chrysosporium* FUNGUS ISOLATES IN THE BIODEGREDATION OF SOME SYNTHETIC TEXTILE DYES

Synthetic dyes are dyes that are widely used in the textile industry. These synthetic dyes can cause problems for the environment because they produce waste that contains hazardous chemicals and is not easily biodegradable. Therefore, a new alternative is needed using a biological method called biodegradation. The purpose of this study was to determine the Phanerochaete chrysosporium fungus in degrading some synthetic textile dyes. This study used a completely randomized design using 4 replications for each type of textile dye including fast blue B salt, reactive black, indigosol/vat blue, acid orange, direct blue, and sulfur black with a concentration of 100 mg/L. Degradation test of synthetic textile dyes using solid media and liquid media. Solid media to determine the color change from day to day and to determine the growth of fungi by measuring the diameter of the fungal colonies. In liquid media to see the color absorption and the decrease in the intensity of the dye using a UV-Vis spectrophotometer, then calculate the percentage of degradation of the absorbance value. The results showed that in solid media the calculation of the diameter of fungal colonies and in liquid media the percentage of degradation got a significant difference for each dye. The results of One Way Anova statistical analysis showed a sig value <0.05. The solid media test showed that P. chrysosporium fungus was able to degrade all types of dyes at a concentration of 100 mg/L with a change in all types of color on the 15th day of observation and the dye faded to pale white on the 30th day of observation. The highest dye was shown in 88.01% sulfur black dye and the lowest was 16.53% acid orange dye.

**Key Word** : *Phanerochaete chrysosporium*, Biodegradation, Synthetic Dyes, Percentage of Degradation.

#### **DAFTAR ISI**

HALA	MAN SAMPUL	ii
HALA	MAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALA	MAN PERSETUJUAN	iv
HALA	MAN PENGESAHAN PENGUJI	iv
LEME	SAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABST	RAK	vii
ABST	RACT	viii
KATA	PENGANTAR	ix
	AR ISI	
DAFT	AR TABEL	xiii
DAFT	AR GAMBAR	xiv
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang	
1.2	Rumusan Masalah	
1.3	Tujuan Penelitian	8
1.4	Manfaat Penelitian	9
1.5	Batasan Penelitian	
1.6	Hipotesis Penelitian	
BAB I	I KAJIAN PUSTAKA	10
2.1	Zat Pewarna Tekstil	10
2.	1.1 Zat Pewarna Azo	11
2.	1.2 Zat Pewarna vat /indigosol	24
2.	1.3 Zat Pewarna Sulfur	26
2.2	Bioremediasi	27
2.3	Jamur	32
2.3.1	Klasifikasi	32
2.4	Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Degradasi	35
BAB I	II METODE PENELITIAN	37
3.1 J	enis dan Rancangan Penelitian	37
3.2 7	Tempat dan Waktu Penelitian	38

3.3 Alat dan Ba	ahan	39
3.4 Variabel Pe	enelitian	39
3.4.1 Variab	el bebas	39
3.4.2 Variab	el terikat	39
3.4.3 Variab	el kontrol	40
3.5 Prosedur P	enelitian	40
3.5.1 Sterilis	asi alat dan ruang kerja (LAF)	40
3.5.2 Pembu	atan Media Peremajaan	40
3.5.3 Pembu	atan Konsentrasi Pewarna	41
3.5.4 Pembu	atan Media Uji Degradasi	41
3.5.5 Uji De	gredasi Pewarna Tekstil Pada Media Padat	42
3.5.6 Uji De	gradasi Pewarna Tekstil Pada Media Cair	42
3.6 Analisis Da	ata	43
BAB IV HASIL	PEMBAHA <mark>SAN</mark>	44
4.1 Uji Degrad	asi Pewarna <mark>Te</mark> ksti <mark>l P</mark> ada <mark>Me</mark> dia <mark>P</mark> adat	44
4.2 Uji Degrad	asi Pewarn <mark>a T</mark> ekstil <mark>Pa</mark> da <mark>M</mark> edia <mark>Ca</mark> ir	51
	PULAN & <mark>SARAN</mark>	
5.1 Kesimpular	n	60
5.2 Saran		60
DAFTAR PUST	AKA	61
LAMPIRAN		

#### **DAFTAR TABEL**

3.1 Rancangan penelitian	38
3.2 Jadwal pelaksanaan Penelitian	
4.1 Perubahan warna tekstil sintetis secara morfologi pada media padat	
4.2 Hasil perubahan warna miselium jamur <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	
4.3 Hasil diameter koloni jamur <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	
4.4 Hasil presentase degradasi pewarna oleh jamur <i>Phanerochaete</i>	
chrysosporium	52



#### **DAFTAR GAMBAR**

2.1 Struktur kimia pewarna azo	12
2.2 Mekanisme eduksi senyawa azo 3-(2-hidroksi-1-naftilazo) oleh enzim lak	case
	14
2.3 Struktur kimia pewarna fast blue B salt	15
2.4 Struktur kimia C.I. reactive red	17
2.5 Mekanisme biodegradasi pewarna <i>reactive black</i> 5	18
2.6 Struktur kimia <i>direct blue</i> 86	20
2.7 Mekaisme degradasi <i>direct blue</i> 56 oleh enzim lakase	21
2.8 Struktur kimia C.I. acid blue	22
2.9 Mekanisme degradasi zat warna acid orange 7	23
2.10 Struktur kimia indigosol	24
2.11 Mekanisme pewarna indigo (a) dan indigo carmin (b) oleh enzim lakase	
	25
2.12 Struktur kimia C.I. solube sulphur black 1	27
2.13 Morfologi jamur <i>Phanerochaete chrysosporium</i> secara (a) makroskopis	dan
(b) mikroskopis	33
4.1 Hasil uji degradasi pewarna tekstil sintetis pada media padat oleh jamur	
Phanerochaete chrysosporium	.44
4.2 Grafik diameter koloni jamur Phanerochaete chrysosporium	.50
4.3 Grafik presentase degrad <mark>asi</mark> pewarna tekstil oleh jamur <i>Phanerochaete</i>	
Chrysosporium	54

#### **BABI**

#### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu bidang industri yang sangat berkembang di Indonesia. Perkembangannya dapat dilihat dari nilai ekspor yang meningkat dan produk tekstilnya yang sangat melimpah. Tercatat pada tahun 2017 terjadi kenaikan jumlah ekspor tekstil dan produk tekstil (TPT) sebesar US\$ 0,5 miliar dari USD 11,8 miliar di tahun 2016. Pada tahun 2019 sektor ndustri tekstil dan produk tekstil (TPT) tercatat nilai ekspor mencapai US\$ 12,9 miliar. Semakin meningkatnya nilai ekspor TPT dari tahun ke tahun menjadikan industri ini sebagai sumber devisa negara yang penting (Julita, 2019). Akan tetapi, meningkatnya jumlah produksi TPT juga memiliki dampak negatif, yaitu mengakibatkan bertambahnya jumlah limbah produksi tekstil yang dihasilkan. Limbah tersebut diperoleh dari tiap tahap proses produk tekstil (Patel and Vashi, 2015).

Salah satu limbah yang menjadi masalah utama pada industri tekstil adalah limbah pewarna. Sebagian besar industri tekstil telah lama menggunakan pewarna sintetis dengan alasan warna yang bervariasi, murah, tahan lama, mudah diperoleh, warna stabil, mudah dalam penanganannya, dan dapat memenuhi kebutuhan dalam skala besar. Tingginya penggunaan pewarna sintetis ini dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan karena sekitar 10% hingga 15% zat pewarna yang sudah dipakai tidak dapat digunakan ulang dan harus dibuang sehingga menjadi limbah (Chequer *et al.*, 2013). Limbah yang

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. Tedapat beberapa jenis zat warna siintetis yang biasanya digunakan pada industri tekstil yaitu jenis pewarna azo, indigosol, asam, direct, procion, dan sulfur. Pewarna tersebut memiliki kandungan karsigonik 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 Bremi 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 Bremi 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 sembarangan. Sebagaimana dalam firman allah dalam al-quran surat Ar-Rum ayat 41 mengenai kerusakan lingkungan yang berbunyi:

Artinya: "Telah nampak kerusakan didarat dan dilaut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (kejalan yang benar)".

Dalam tafsir ali (2009), menjelaskan bahwa kerusakan yang terjadi di laut dan didarat karena ulah manusia. Alam raya diciptakan oleh Allah SWT dalam keseimbangan dan sesuai dengan kebutuhan makhluk hidup. Tetapi manusia melakukan kerusakan sehingga terjadi ketidakseimbangan dalam sistem kerja alam seperti pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan salah satunya dari limbah-limbah yang berbahaya seperti limbah industri tekstil yang menggunakan pewarna sintetis dimana limbah tersebut tidak mudah terurai secara alami. Limbah dapat menimbulkan polusi secara visual beresiko bagi kesehatan, ekosistem air, dan darat ikut tercemar berupa perubahan warna air dan bau yang tidak sedap.

Penurunan kualitas air dengan meningkatkanya kekeruhan air yang disebabkan oleh polusi zat warna akan menghalangi masuknya cahaya matahari ke dasar perairan. Keseimbangan proses fotosintesis juga terganggu serta kandungan zat warna yang memiliki efek karsinogenik dan mutagenik dapat menjadi masalah serius. Oleh sebab itu, limbah pewarna tekstil sintetis harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran air lingkungan sekitar (Agustina and Badewasta, 2009).

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 didekambangkan dalam sistem pengolahan limbah untuk mengeleminasi dampak negatif pewarna tekstil. Namun efesiensi penghilangan melalui proses ini seringkali tidak memuaskan seperti pada penghilangan kandungan bahaya dalam warna secara kimia menggunakan koalgulan 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 penangannya 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 mikroorganisme sebagai agen degradasi. Mikroorganisme 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 pepengolahan 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 konsesntrasi 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 ligninolitik 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 yairu masing-masing sebesar 61,47%, dan 7901% 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 Penicilium 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%, dan47,53% 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 optimal0,4 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 *reactive black* sebesar 90,3% pada konsentrasi 100 mg/L, suhu 37<sup>0</sup>C selama 7 hari dengan agitasi 120 rpm.

Sejauh yang diketahui, terdapat beberapa penelitian tentang penggunaan *P.chrysosporium* dalam mendegradasi pewarna tekstil sintetis antara lain pada jenis *azo orange* II; *reactive black* 5, *reactive red*, *reactive blue* 19 dan *reactive orange* 16; *acid red* 88 dan *acid red* 144; *direct violet* 51; *metilen blue* (Zeng *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2009; Ghasemi *et al.*, 2010; Enayatizamira *et al.*, 2011; Kiran *et al.*, 2012). Namun, belum ada penelitian mengenai kamampuan jamur *P.chrysosporium* dalam mendegradasi pada jenis pewarna *fast blue b salt*, vat, dan sulfur. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari isolat jamur *P.chrysosporium* dalam mendegradasi beberapa pewarna tekstil yaitu *fast blue b salt*, *reactive black*, *direct blue*, *acid orange*, *sulfur black*, *vat blue* pada media padat dan cair. Media padat dan cair digunakan untuk mengetahui uji degradasi dalam pengamatan hari ke hari dan secara kuantitatif dalam menghitung presentase degradasi pewarna.

#### 1.2 Rumusan Masalah

- 1. Bagaimana kemampuan isolat jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis pada media padat?
- 2. Bagaimana kemampuan isolat jamur *P.chrysosporium* dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis pada media cair?

#### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kemampuan isolat jamur *P. chrysosporium* dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis pada media padat?

2. Untuk mengetahui kemampuan isolat jamur *P. chrysosporium* dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis pada media cair?

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi jamur *P.chrysosporium* dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis sehingga dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam pengembangan metode alternatif yang ramah lingkungan dalam mendegradasi zat-zat yang terkandung pada pewarna tekstil sintetis dalam bidang industri.

#### 1.5 Batasan Penelitian

- 1. Spesies jamur yang digunakan pada penelitian ini adalah *P.chrysosporium*
- 2. Jenis pewarna tekstil yang digunakan adalah reactive black, vat blue, direct blue, sulfur black, fat blue b salt, dan acid orange
- 3. Perubahan warna dan pengukuran diameter koloni jamur pada media padat
- 4. Persentase degradasi pewarna tekstil sintetis dan perubahan pada media cair

#### 1.6 Hipotesis Penelitian

Isolat jamur *P.chrysosporium* memiliki kemampuan dalam mendegradasi berbagai pewarna tekstil sintetis

#### **BAB II**

#### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Zat Pewarna Tekstil

Zat pewarna merupakan senyawa organik tidak jenuh dengan gugus kromofor (pembawa warna) dan gugus ausokrom (pengikat antara kromofor dan serat inertnya). Gugus kromofor merupakan gugus yang menyebabkan warna dapat menyerap panjang gelombang secara selektif. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna yaitu senyawa aromatik, diantaranya senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol, dan turunannya, serta senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Nugroho and Sigit, 2013).

Pada pewarna tesktil terdapat senyawa organik rantai panjang dan berdasarkan struktur kimianya zat warna tekstil dibedakan menjadi beberapa jenis. Penggolongan warnanya menurut "Colours Index" diantaranya berdasarkan perbedaan sistem kromofornya, misalnya ftalosia, indigo, aromatik karbonil, azo, quioftalen, antrakuinon, nitrosol, okazin, sulfur, karbonium, nitro, benzodifuran, polimetil, polisiklik, di, dan tri-aril, dll. (Nugroho and Ikbal, 2005).

Pewarna secara umum dibagi menjadi 2 diantaranya yaitu pewarna alami dan sintetik. Pewarna alami berasal dari tumbuhan dan hewan seperti kuma-kuma (safron) yang menghasilkan kuning, siput laut yang menghasilkan warna ungu. Pewarna sintetis sendiri merupakan bahan buatan yang berasal dari sumber sintetik seperti produk sekunder petroleum dan mineral bumi. Pewarna

sintetis berdasarkan metode aplikasinya, dapat dikelompokkan menjadi pewarna asidik, vat, disperse, sulfur, mordan, reaktif, dan alkalin (Carmen and Daniela, 2012). Proses pembuatan zat warna sintetis ini biasanya melalui perlakuan pada pemberian asam sulfat atau asam nitrat yang sering kali terkontaminasi oleh logam berat atau arsen yang bersifat racun (Cahyadi, 2006).

Zat pewarna buatan (Certified Color) terdapat 2 macam yaitu:

#### a. Dye

Merupakan zat pewarna yang umumnya memiliki sifat larut dalm air dan larutan tersebut dapat diwarnai. Pelarutnya bisa digunakan selain air yaitu gliserin, atau alkohol, propilenglikol. Pewarna ini juga dapat diberikan dalam bentuk kering tetapi pada pengolahan produk menggunakan air. pewarna ini terdapat dalam beberapa bentuk diantaranya pasta, bubuk, butiran, maupun cair. Pewarna ini tidak dapat larut dalam minyak (Winarno, 2002).

#### b. Lake

Merupakan gabungan dari zat warna (*dye*) dengan radikal bas (Al atau Ca) yang terlapisi dengan hidrat alumina (Al(OH)<sub>3</sub>). Sehingga zat warna ini tidak dapat larut pada semua pelarut. *Lake* lebih baik digunakan untuk produk-produk yang mengandung lemak dan minyak (Winarno, 2002).

#### 2.1.1 Zat Pewarna Azo

Pewarna azo merupakan pewarna sintetik yang pertama kali ditemukan oleh *Peter griess* dimana kegunaannya sangat penting karena

pewarna azo yang kurang lebih dari 50% digunakan dalam semua pewarna komersial, seperti halnya plastik, tekstil, makanan, kosmetik. Sedikitnya pewarna azo terdiri atas kelompok satu azo yang dimana mengandung gugus (-N=N-) dan mengandung 2 kromofor yang disebut diazo (disazo), golongan azo yang mengandung tiga kromofor disebut triazo (trisazo), golongan azo yang mengandung 5 kromofor disebut tetrakisazo, jika lebih disebut poliazo. Kelompok azo yang terikat oleh dua kelompok atau sedikitnya dari satu, biasanya dinamakan dua aromatik zat warna azo memiliki lingkungan warna yang sangat luas diantaranya ada violet, jingga, kuning, biru, merah, *navy blue* (AL), hitam, dan warna hijau yang sangat terbatas (Manurung *et al.*, 2004).

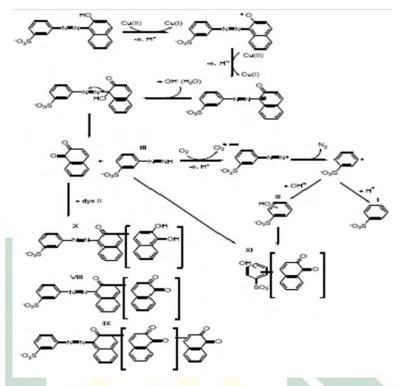
Toksisitas akut pada pewarna azo ini relatif rendah tetapi dampak yang dihasilkan sangatlah besar, contohnya pada perairan yang dapat mengganggu aktifitas fotosintesis mikroorganisme yang berdampak dapat mengurangi oksigen pada air akibat dari terhambatnya penetrasi sinar matahari (Sastrawidana *et al.*, 2008). Struktur kimia pewarna azo dapat ditunjukkan pada gambar 2.1 sebagai berikut:

$$HO \longrightarrow HO$$
 $HO \longrightarrow H_2N$ 
 $H_2N$ 

Gambar 2.1 Struktur kimia pewarna azo (Rajaguru *et al.*, 2002)

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 dimiki 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.



Gambar 2.2 Mekanisme eduksi senyawa azo 3-(2-hidroksi-1-naftilazo) oleh enzim lakase
(Danrea *et al.*, 2005)

Mekanisme yang diusulkan reduksi senyawa azo 3-(2-hidroksi-1-naftilazo) oleh enzim lakase (gambar 2.2) tersebut lakase mengoksidasi grup fenolik dengan adanya stau elektron yang menciptakan radikal *phenoxy*, dan berikutnya diikuti oleh oksidasi menjadi ion karbonium. Disrupsi nukleofilik oleh air yang terjadi pada cicin karbon fenoliknya, menyebabkan ikatan azo memproduksi 2-diazenyl-benzenesulforic acid (III) dan 1.2 – naphthoquinone. Radikal yang terbentuk oleh oksidasi satu elektron akan bereaksi dengan 1.2-naphthoquinone. Radikal tersebut akan mengalami oksidasi menjadi komponen VIII, reduksi menjadi komponen X, atau mengalami polimerasi lalu teroksidasi lagi membentuk komponen IX . (Susana et al., 2005).

Turunan pewarna azo terdapat salah satu macam, yaitu:

#### a. Garam Diazonium

Merupakan salah satu kelompok turunan pewarna azo dengan dua gugus azo (-N=N-) yang berikatan dengan suatu amina aromatik. Garam diazonium merupakan senyawa organik yang diperoleh dari reaksi suatu amina aromatik primer yang dilarutkan atau disuspensikan dalam suatu larutan asam mineral dalam air, kemudian direaksikan dengan asam nitrit dengan penambahan atom nitrogen kedalam senyawa amina (Yahdiana, 2011). Berikut salah satu jenis dari garam diazonium pada gambar 2.3 :

$$H_3CO$$
  $OCH_3$ 
 $+N_2$   $-N_2$ 
 $CI$   $CI$   $CI$ 

Gambar 2.3 Struktur kimia pewarna fast blue B salt (National Center for Biotechnology Information, 2021)

Pewarna *fast blue B salt* ini merupakan zat warna yang termasuk golongan zat warna azo dengan rumus kimia C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>Cl<sub>4</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>Zn. Zat pewarna ini digunakan dalam mendeteksi senyawa fenolik dan secara ekstensif digunakan untuk menguji molekul (National Center for Biotechnology Information, 2021).

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:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsb

# 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 absorbsinya 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:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uins

# Gambar 2.5 Mekanisme biodegradasi pewarna *rective black* 5 (Kandelbauer and Guebitz, 2005)

Mekanisme biodegradasi pewarna *reactive black* 5 (gambar 2.5) tersebut terbelah dua dimana mengarah ke pembentukan 8-aminonaphthalene-1,2-diol dan4-sulfooxyethysulfonyl-1-phenol, kemungkinan besar garam natrium dimediasi oleh lakase. Oksidasi ikatan azo membentuk senyawa hidroksil yang ortoposisi dengan gugus hidroksil dan secara bersamaan melepaskan N<sub>2</sub> dalam bentuk molekul. Hal tersebut disebabkan oleh abstraksi elektron ikatan azo oleh enzim lakase yang menghasikan pembentukan resonansi kation stabil yang diserang oleh nekleofil dari air. karena menghasilkan gugus hidroksil. Sedangkan ikatan azo yang lain pada ortoposisi amino dibelah melepaskan N<sub>2</sub> dalam bentuk molekul (Kandelbauer and Guebitz, 2005).

Lakase merupakan jenis fenoloksidase dari enzim ligninolitik yang hanya menggunakan molekul oksigen untuk mengoksidasi berbagai senyawa xenobiotik tanpa membutuhkan mediator redoks dan metabolit sekunder sehingga enzim dilepaskan dipertumbuhan awal pada jamur. Lalu

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 tannpa 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 degradasid*irect blue* 56 oleh enzim lakase (Zille, 2005)

Mekanisme degradasi zat warna direct bue 56 (gambar 2.7) tersebut terjadi karena adanya aktivitas metabolisme dengan sistem enzimatik yang menyebabkan pewarna digunakan sebagai sumber nutrisi alternatif enzim ligninolitik 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, derivate diazen, dan N<sub>2</sub> (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.

# Gambar 2.8 Struktur kimia C.I. *acid blue* 2 (Benkhaya *et al.*, 2017)

C.I acid blue 2 (gambar 2.8) tersebut merupakan senyawa benzakuinon dan termasuk golongan senyawa alkoloid yang terdapat ikatan amina yaitu –NH. Pewarna asam merupakan pewarna yang dapat diaplikasikan pada sutra atau wo, nilon dikisarkan pH 3,0-7,0. Pewarna ini umumnya cerah dengan variabel tahan luntur pada saat dicuci secara struktural molekul pewarna ini sangat bervariasi dari sedang hingga baik dan sifat tahan lunturnya ini umumnya dalam kisaran skala biru 5,0-6,0 dan mencakup beberapa logam kompleks. Pewarna asam ini umumnya diterapkan dalam kondisi asam dengan derajat keasamannya tergantung pada sifat setiap warna. Ciri yang menentukan dari kelompok pewarna ini yaitu adanya gugus tersulfonasi yang memberikan kelarutan. Ikatan dengan wol terjadi karena disebabkan oleh interaksi-interaksi antar kelompok sulfonat dan gugus amonium pada serat wol (Benkhaya *et al.*, 2017).

Jenis mekanisme pewarna asam yang lain dapat ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.

Gambar 2.9 Mekanisme degradasi zat warna *acid orange* 7 (Andrea *et al.*, 2005)

Mekanisme degradasi zat warna *acid orange* 7 (gambar 2.9) tersebut terjadi reaksi oksidasi oleh enzim lakase. Enzim lakase merupakan enzim yang banyak mengandung logam tembaga dan mempunyai kemampuan untuk mengaktifkan enzim, sehingga bagian tertentu pada dalam enzim mampu mengoksidasi senyawa fenol. Lakase mengkonversi senyawa fenol menjadi quinin radikal dengan bantuan oksigen mengubahnya menjadi quinon (Hatakka, 2001). Lakase pada jamur mengoksidasi ikatan azo (-N=N-) yang merupakan gugus kromofor menjadi gugus N<sub>2</sub>. Proses degradasi ini disebabkan karena adanya aktivitas metabolisme dengan sistem enzimatik yang menyebabkan pewarna dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi alternatif oleh mikroorganisme (Yaropolov *et al.*, 1994).

#### 2.1.2 Zat Pewarna vat /indigosol

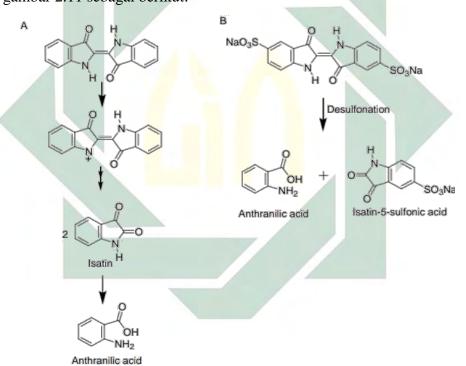
Pewarna vat atau lebih dikenal dengan indigosol merupakan zat pewarna secara kimiawi yang berasal dari garam-garam natrium dari esterester disolfat. Juga merupakan salah satu pewarna sintetik yang banyak digunakan dalam kerajinan batik karena pewarna ini memiliki keunggulan diantaranya memiliki variasi warna yang tidak mudah luntur, hanya sedikit membutuhkan obat pembantu (Natrium Nitrit (NaNO2)), dan penggunaannya yang mudah dan hemat. Pewarna ini memiliki karakteristik yaitu larutan yang berwarna kuning jernih, dan memiliki kemampuan dalam membentuk zat warna aslinya. Pewarna indigosol ini bersifat *recalcitrant* dimana memiliki potensi dalam mencemari lingkungan (Fitria, 2015). Sktruktur kimia pewarna indigosol dapat ditunjukkan pada gambar 2.10 sebagai berikut:



Struktur kimia indigosol (gambar 2.10) tersebut merupakan senyawa heterosiklik indola termasuk golongan senyawa eter karena memiliki rumus gugus fungsi R-O-R dan memiliki bentuk struktur yang simetris. Pewarna indigosol merupakan zat warna yang larut dalam air. Pewarna indigosol terdapat beberapa macam dalam memunculkan warnanya yaitu tidak memerlukan pemanasan cahaya matahari secara langsung dan ada yang

memerlukan pemanasan cahaya matahari secara langsung. Pewarna indigosol seperti kuning, merah, hijau, abu-abu, dan coklat tidak memerlukan pemanasan cahaya matahari secara langsung dimasukkan kedalam larutan asam (HCl atau  $H_2SO_4$ ) sudah muncul warnanya yang dikehendakinya, sedangkan warna biru dan violet harus dioksidasi dibawah sinar matahari secara langsung baru muncul warnanya. Indigosol memiliki rumus molekul  $C_{16}H_{10}N_2Na_2O_8\,S_2$  (Daranindra, 2010).

Mekanisme biodegradasi pewarna indigosol dapat ditunjukkan pada gambar 2.11 sebagai berikut:



Gambar 2.11 Mekanisme Pewarna indigo (A) dan Indigo carmin (B) oleh enzim lakase

(Campos et al., 2001)

Mekanisme pewarna indigo (A) dan indigo carmin oleh enzim lakase (gambar 2.11) tersebut dimana oksidasi pewarna indigo oleh lakase diamati sebagai pengambilan berurutan 4 elektron dari molekul indigo. Pertama, dimana indigo dan indigo carmin terdegradasi oksidasi elektokimia menjadi

dehydroindigo diikuti dengan serangan nukleofil (air) megarah ke penggabungan atom O ke dalam produk degradasi. Lakase dapat menurunkan melalui pembentukan isatin (indol-2,3-dion). Lalu isatin didegradasi menjadi asam antranilic (asam 2-aminobenzoat) secara spontan melalui dekarboksilasi asam isat, yaitu terbentuk secara hidrolitik setelah degradasi isatin (Campos *et al.*, 2001).

# 2.1.3 Zat Pewarna Sulfur

Pewarna sulfur merupakan bahan koloid amorf dengan berat molekul tinggi komposisi variabelnya. Pewarna sulfur ini tesedia dalam bentuk bubuk atau pasta, murah, tidak larut dalam air, dan mudah diaplikasikan. Pewarna sulfur digunakan terutama dalam pewarnaan tekstil pencelupan bahan serat selulosa yang digunakan terutama pada pewarnaan kapas sedang atau berat tetapi direduksi terlebih dahulu. Zat warna ini dapat menangkap cahaya secara cepat dan mencucinya warnanya juga cepat dengan biaya yang rendah. Jenis pewarna ini termasuk pewarna non-ionik dan tidak dapat larut dalam air. Pewarna sulfur termasuk pewarna yang tahan luntur. Pewarna ini digunakan dalam pencelupan pakaian dan tali denim (Benkhaya *et al.*, 2017). Struktur kimia pewarna sulfur dapat ditunjukkan pada gambar 2.12 sebagai berikut.

Na<sup>+</sup> Na<sup>+</sup>

 $S^{-}$ 

Gambar 2.12 Struktur kimia C.I. *soluble sulphur black* 1 (National Center for Biotechnology Information, 2021)

Struktur kimia pewara *sulfur black* 1 (gambar 2.12) tersebut merupakan senyawa yang memiliki rumus empiris C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>N<sub>2</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>5</sub>S<sub>2</sub>. Pewarna sulfur diklasifikasikan berdasarkan struktur dan aplikasi kimianya. Klasifikasi kimianya meliputi pewarna sulfur murni dan pewarna vat yang telah disulfurisasi. Sulfurisasi sendiri melibatkan berbagai reaksi, termasuk substitusi, pembentukan cincin, oksidasi, dan reduksi. Bahan awalnya yaitu mencakup senyawa aromatik yang relatif umum termasuk benzena, difenil, azobenzena, naftalena, difenilamin, dll. Setidaknya mengandung satu amino tersubtitusi, nitroso, amino, atau gugus hidroksi. Terdapat dua tipe yaitu pertama hanya mencakup ikatan sulfur dan direduksi dengan Na<sub>2</sub>S, sedangkan tipe kedua mencakup ikatan sulfur dan gugus karbonil, dan direduksi dengan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dan NaOH. Berdasarkan aplikasi, pewarna sulfur tersedia dalam 3 bentuk utama, yaitu bubuk (jenis konvensional yang tidak larut), tereduksi, dan larut dalam air (Teli *et al.*, 2001).

## 2.2 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan proses pemulihan zat yang berbahaya yang terkontaminasi dalam lingkungan dan tanah dengan menggunakan mikroorganisme yang berperan sebagai agen perombak dalam proses tersebut. Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Enzim dari organisme tersebutlah

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 land farming dan Proses bioremediasi ini bioreaktor. memiliki faktor-faktor 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 enzimatis, 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 unsurunsur 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

kualitas dan daya dukung bagi hewan dan tumbuhan pada akhirnya mempengaruhi kehidupan manusia. Sebagaimana dalam firman allah yang terdapat pada surat Al-Baqoroh ayat 11-12 yang berbunyi:

Artinya: "Dan bila dikatakan kepada mereka:" janganlah kamu membuat kerusakan dimuka bumi". Mereka menjawab: "Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan". "Ingatlah, sesungguhnya mereka itulah orang-orang yang membuat kerusakan, tetapi mereka tidak sadar".

Dalam tafsir Aisarut Tafasir/ Syaik Abu Bakar Jabir al-Jazairi dalam ayat 11 surat al-baqoroh bahwa makna kata :

dibumi إِنَّا خَنْ مُصْلِحُونَ : Al-Islaah fil ardhi yaitu dengan berbuat kekufuran dan berlaku dibumi إِنَّا خَنْ مُصْلِحُونَ : Al-Islaah fil ardhi maknanya mengadakan perbaikan dengan keimanan yang benar dan amalan shalih, meninggalkan syirik dan dosa-dosa. Maknanya tidak ada kerusakan yang paling besar mengingkari ayat-ayat Allah (Al-Quran), berusaha membantah Allah dan para wali-Nya, tidak menjalankan perintah-Nya. Perbuatan maksiat dinyatakan sebagai kerusakan karena diakibatkan oleh maksiat seperti dalam hal membakar hutan, menebang pohon sembarangan, mencemari lingkungan, dll. Sebaliknya bumi hanya akan menjadi baik dengan iman dan ketaatan dan ibadah untuk Allah ta'ala dengan cara menjaga dan merawat bumi dan lingkungannya. Dalam tafsir ayat 12 Al-Baqoroh oleh tafsir Al-Wajiz/ Syaikh Prof.Dr. Wahbah Az-Zuhaili (pakar fiqih dan tafsir negeri suriah) mengatakan bahwa Allah mengabarkan dan mengingatkan bahwa mereka

merupakan perusak akan tetapi mereka tidak mengerti atau tidak menyadari bahwa kerusakan itu karena kebodohan dan pembangkangan mereka.

Dari sini kita memulai titik terang mengenai pengembalian alam merupakan bagian dari kelangsungan hidup populasi manusia di bumi karena tanpa adanya lingkungan manusia bukanlah apa-apa. Tetapi disini manusia sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup lingkungan. Dari sudut pandang agama manusia telah ditetapkan oleh Al-Quran sebagai khalifah dibumi seperti yang tertulis dalam surat Al-Baqarah (2): 30 sebagai berikut.

Artinya: "Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat: "
Sesungguhnya aku hendak menjadikan seorang khalifah dimuka bumi". mereka berkata: "Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) dimuka bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?"
Tuhan berfirman: "Sesungguhnya aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui".

Ayat ke-30 surat Al-Baqarah ini menegaskan bahwa Allah SWT, menciptakan manusia ditugaskan menjadi khalifah. Khalifah ini mengandung makna bahwa manusia telah ditetapkan oleh Allah dimuka bumi sebagai pemimpin. Manusia wajib bisa menyesuaikan dirinya dengan sifat-sifat Allah. Sifat Allah salah satunya yaitu sifat Allah tentang alam sebagai pemelihara atau penjaga alam. Menjaga keberlangsungan fungsi bumi sebagai tempat kehidupan manusia sekaligus menjaga keberlanjutan kehidupannya.

Pada pencemaran lingkungan dapat terjadi berlangsungnya biodegradasi secara alamiah, karena adanya mikroorganisme yang telah beradaptasi dalam mendegradasi polutan pada lingkungan tersebut. Adaptasi tersebut ditandai atau dilihat dari peningkatan laju biodegradasi polutan oleh mikroorganisme. Biodegradasi dapat berjalan optimal terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu kadar oksigen, suhu, kadar air, pH (Bollag, 1992).

#### 2.3 Jamur

## 2.3.1 Klasifikasi

Jamur *Phanerochaete chrysosporium* termasuk dalam kelompok Jamur Pelapuk Putih (JPP) yaitu salah satu jamur yang berperan dalam proses delignifikasi untuk mendegradasi lignin dan selulosa, mikroorganisme ini berasal dari filum basidiomycetes. Berikut ini adalah klasifikasi dari jamur *P.chrysosporium*:

Kingdom: Fungi

Phylum : Basidiomycota

Class : Agaricomycetes

Ordo : Polyporales

Family : Phanerochaetaceae

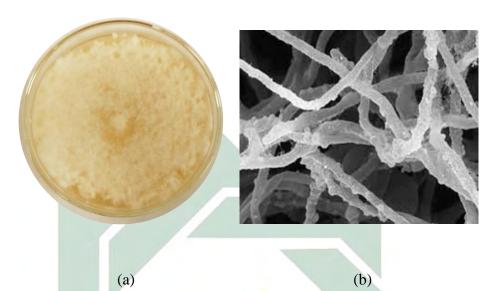
Genus : Phanerochaete

Spesies : Phanerochaete chrysosporium

(National Centre for Biothecnology Information, 2017).

# 2.3.2 Morfologi

Berikut ini adalah morfologi dari jamur *Phanerochaete chrysosporium* secara makroskopis dan mikroskopis:



Gambar 2.13 Morfologi jamur *Phanerochaete chrysosporium* secara (a) makroskopis dan (b) mikroskopis

(MikrobeWiki, 2008)

Jamur *Phanerochaete chrysosporium* memiliki keadaan fisik yang berserabut seperti kapas dan berwarna putih serta memiliki spora dan talus bercabang yang disebut hifa. Kumpulan dari hifa disebut miselium. *P. chrysosporium* mempunyai 3 fase pertumbuhan, yaitu fase vegetatif, seksual, dan aseksual. Fase vegetatif merupakan fase pertumbuhan dominan. Selama fase ini, jamur paling banyak menghasilkan enzim ekstraselular. Tubuh buah jamur secara alami mulai terbentuk pada hari ke-18-20. Tubuh buah jamur basah, lembut, dan berwarna putih kekuningan (Reddy and Mathew, 2001).

*P.chrysosporium* merupakan mikroorganisme lignolitik paling efisien. Jamur ini merupakan mikroorganisme bersel banyak, hidup secara aerobik,non fotosintetik kemoheterotrof, termasuk eukariotik, menggunakan senyawa organik sebagai substrat dan berproduksi secara aseksual dengan

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 lainlain.

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 O2. 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 pertambahan biomassa jamur (Haedar *et al.*, 2013). Sumber karbon terutama glukosa berperan sebagai kometabolik dan substrat produksi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dimana H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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 efesiansi 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).



## **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

# 3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam mendegadasi beberapa pewarna tekstil. Penelitian ini termasuk dalam penelitian *experimental laboratory* yang menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Rancangan ini menggunakan 6 jenis pewarna tekstil diantaranya pewarna *fast blue B salt*, *reaktive black*, *indigosol/vat blue*, *acid orange*, *direct blue*, dan *sulfur black* dengan konsentrasi 100 mg/L dilakukan 4 ulangan dalam media padat dan cair.

Untuk mengetahui ulangan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu menggunakan perhitungan dengan rumus Federer (Dahlan, 2011) yaitu:

$$(t-1)(n-1) \ge 15$$

Ket: t = Jumlah perlakuan n = Jumlah pengulangan

Jadi, pengulangan pada penelitian ini dapat diketahui, yaitu:

$$(t-1)(n-1) \ge 15$$

$$(6-1)(n-1) \ge 15$$

$$5 (n-1) \ge 15$$

$$5n-5\ \geq 15$$

$$n \geq \frac{20}{5}$$

$$n \ge 4$$

Tabel 3.1 Rancangan penelitian

Illangan	Perlakuan					
Ulangan -	P1	P2	Р3	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	$P_{12}$	$P_{22}$	$P_{32}$	$P_{42}$	$P_{52}$	$P_{62}$
3	$P_{13}$	$P_{23}$	$P_{33}$	$P_{43}$	$P_{53}$	$P_{63}$
4	$P_{14}$	$P_{24}$	$P_{34}$	$P_{44}$	$P_{54}$	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						Bula	n				
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan			39								
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, spektrofotmetri 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, NaNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, KCl, FeSO<sub>4</sub>), 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 diatasnya. Peralatan dimasukkan kedalam autoclave. Autoklaf disetting dengan waktu 20 menit pada suhu 121°C, tekanan 1 atm. Pensterilan ruang kerja (LAF), permukaan meja Laminar Air Flow dibersihkan dengan menggunakan tissue yang telah di basahi oleh alkohol 70%. Alat-alat yang telah disterilkan dimasukkan kedalam 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 kedalam erlenmeyer dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 20 ml. PDA yang telah larut diletakkan diatas hot plate lalu diaduk sampai mendidih. Setelah itu, disterilkan dalam autoklaf dengan suhu 121°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°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°C selama 15 menit. Media cair didinginkan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar (Wuryanti, 2008).

# 3.5.5 Uji Degredasi Pewarna Tekstil Pada Media Padat

Subkultur jamur *Phanerochaete chrysosporium* dilubangi dengan menggunakan bor gabus steril ukuran 1 cm lalu diambil dengan scalpel dan diinokulasikan ke dalam media padat yang telah tercampur dengan pewarna tekstil dengan konsentrasi 100 mg/L. Setelah itu diinkubasi selama 30 hari pada ruangan gelap dan dilakukan pengamatan degradasi pewarna pada media. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan perhitungan diameter koloni jamur *P.chrysosporium* dengan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{D1 + D2}{D2}$$

Keterangan:

D : diameter *P.chrysosporium* (cm)

D1 : diameter arah tegak lurus keatas

D2: diameter arah tegak lurus kesamping

# 3.5.6 Uji Degradasi Pewarna Tekstil Pada Media Cair

Subkultur jamur *Phanerochaete chrysosporium* yang dipanen dilubangi dengan menggunakan bor gabus steril ukuran 1 cm lalu diambil dengan *scalpel* dan diinokulasikan ke dalam media cair yang berisi medium CDB dan larutan pewarna tekstil konsentrasi 100 mg/L dengan volume 225 ml kedalam erlenmeyer.

Kultur diamati untuk mengetahui perubahan warna/ degradasinya selama 7 hari. Setelah itu, dilakukan pengukuran dengan cara mengambil media kultur secukupnya untuk disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10

menit. Setelah itu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 300-800 nm. Persentase degradasi pewarna tekstil dihitung sesuai persamaan:

Persentase degradasi = 
$$\frac{absorbansi\ awal-absorbansi\ akhir}{absorbansi\ awal} \times 100\%$$

## 3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini yaitu berupa data hasil dari uji secara kualitatif dan kuantitatif yang didapatkan dari hasil uji potensi jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam biodegradasi beberapa pewarna tekstil. Data kualitatif adalah hasil data yang diperoleh dan dijabarkan dalam bentuk deskriptif komparatif dengan adanya hasil dokumentasi yang mendukung. Sedangkan data kuantitatif adalah data dengan menghitung diameter koloni jamur dan menghitung persentase degradasi pewarna tekstil.

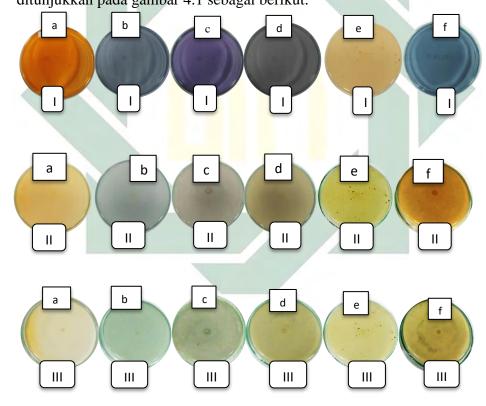
Data perhitungan diameter koloni jamur dan persentase degradasi yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan uji normalitas dan homogenitas. Data yang diperoleh normal dan homogen maka dilakukan uji *One Way ANOVA*. Uji yang pertama dilakukan yaitu uji normalitas menggunakan *Shapiro-wilk* untuk mengetahui data tersebut normal atau tidak, data dinyatakan normal apabila p > 0.05. Jika data terdistribusi normal maka dilanjutkan uji *One Way ANOVA* untuk mengetahui apakah data tersebut terdapat perbedaan atau tidak. Hasil dari penelitian pada uji tersebut signifikan dengan p < 0.05 (terdapat perbedaan) maka dilajutkan uji *post-hoc – Duncan Multiple Range Test* untuk mengetahui uji beda nyata dari pengaruh persentase degradasi.

## **BAB IV**

# HASIL PEMBAHASAN

# 4.1 Uji Degradasi Pewarna Tekstil Pada Media Padat

Hasil uji degradasi pewarna tekstil pada media padat PDA terlihat pada hari ke-15 dan hari ke- 30. Uji tersebut ditandai dengan adanya perubahan warna media dan perubahan warna miselium yang merupakan indikator awal dari proses degradasi pewarna. Perubahan warna tekstil pada media padat dapat ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil uji degradasi pewarna tekstil sintesis pada media padat oleh jamur P.chrysosorium (Dokumen Pribadi, 2021)

#### Keterangan:

<sup>\*</sup> a (acid orange), b (vat blue), c (direct blue), d (sulfur black), e (fast blue b salt), f (reactive black)

<sup>\*</sup> I : hari ke-0, II : hari ke-15, III: hari ke-30

Tabel 4.1 Perubahan warna tekstil sintetis secara morfologi pada media padat

Jenis	Perubahan warna tekstil sintetis						
Pewar	Hari ke-0	Hari ke-15	Hari ke-30				
na							
AO	Orange tua pekat	Orange kekuningan	Putih pucat				
VB	Biru muda keabu-abuan pekat	Biru abu-abu muda keputihan	Biru hijau muda keputihan				
DB	Ungu muda pekat	Ungu muda keabu-abuan	Abu-abu muda				
	-	pucat	kecoklatan pucat				
SB	Abu-abu kehitaman	Abu-abu muda keruh	Putih keruh				
FBBS	Orange muda pucat	Kuning keputihan	Putih pucat				
RB	Hijau kebiruan	Orange muda kehitaman	Putih pucat				

(Dokumen Pribadi, 2021)

#### Keterangan:

Tabel 4.2 Hasil perubahan warna miselium jamur Phanerochaete chrysosporium

Jenis Pewarna	Perubahan warna miselium jamur Phanerochaete chrysosporium					
	Hari ke-0	Hari <mark>ke-</mark> 15	Hari ke-30			
AO	Putih Putih	Orange muda pucat	Orange muda			
VB	Putih	Biru muda keabu-	Biru muda keabu-			
	4	abuan <mark>pu</mark> cat	abuan			
DB	Putih	Ungu muda pucat	Ungu muda			
SB	Putih	Abu-abu muda pucat	Abu-abu muda			
FBBS	Putih	Kekuningan pucat	Orange muda pucat			
			Kekuningan			
RB	Putih	Hijau muda kebiruan	Hijau muda kebiruan			
		pucat				

(Dokumen pribadi, 2021)

#### Keterangan:

Hasil uji degradasi pewarna tekstil sintetis oleh jamur *P. chrysosporium* (Gambar 4.1) menunjukkan adanya perubahan pewarna pada pengamatan hari ke-15 dan pengamatan hari ke-30. Perubahan warna tekstil sintetis terlihat berbeda-beda dari setiap jenis pewarna. Pada pewarna *acid orange*, pada hari ke-0 bewarna *orange* kemerahan pekat lalu pada hari-15 berubah menjadi orange kekuningan dan pada hari ke-30 menjadi putih keruh. Sama halnya

<sup>\*</sup>AO (acid orange), VB (vat blue), DB (direct blue), SB (sulfur black), FBBS (fast blue b salt), RB (reactive black)

<sup>\*</sup> AO (acid orange), VB (vat blue), DB (direct blue), SB (sulfur black), FBBS (fast blue b salt), RB (reactive black)

dengan pewarna *reactive black*, pada hari ke-0 bewarna 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 mudah 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 mudah 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 Blanquez *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 penyarapannya 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 absorbsi pewarna ke permukaan sel mikroba adalah mekanisme utama degradasi. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa zat warna terdegradasi disebabkan adanya aktivitas penyerapan (absorbsi) 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 enzimatis dan non enzimatis. Degradasi secara enzimatis 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 nonspesifik 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 absorbsi 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 absorbsi 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

pewarnanya dahulu sebagai sumber energi. Pertumbuhan miselium kultur jamur *P. chrysosporium* pada media padat, hampir menutupi seluruh permukaan cawan petri pada pengamatan hari ke-15 dan perubahan warna mulai terlihat sangat memudar pada pengamatan hari ke-30. Pada uji degradasi pewarna tekstil zona bening tidak terlihat secara visual tetapi jamur tersebut mampu tumbuh dengan baik pada medium PDA yang mengandung konsentrasi 100 mg/L. Dengan demikian, dilakukanlah dengan mengukur diameter koloni jamur *P. chrysosporium* pada media padat pewarna tekstil.

Menurut Adnan *et al*, (2014) pengukuran diameter koloni jamur ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pertumbuhan jamur dalam mendegradasi. Ketika jumlah mikroba yang tumbuh semakin banyak maka semakin besar. Zat warna tekstil yang digunakan sebagai nutrisi terjadi penurunan absorbansi besar atau sebaliknya jika pertumbuhan jamur pada medium terlalu banyak menyebabkan persaingan nutrisi karena didalamnya kemampuan degradasi menurun. Hasil diameter koloni jamur *P. chrysosporium* pada media padat ditunjukkan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil diameter koloni jamur P. chrysosporium

Pewarna tekstil	Rata-rata diameter koloni jamur ± std. Deviasi (%)	Uji OneWay Anova
AO	$8.8 \pm 0.13 a$	_
VB	$7,6 \pm 0,76 \mathrm{a}$	
DB	$7,7 \pm 0.26 a$	- <i>P</i> = 0.035
SB	$8,3 \pm 0,45 \text{ ab}$	P = 0.033
FBBS	$8,2 \pm 0,17 \text{ ab}$	
RB	$7.9 \pm 0.65 \mathrm{b}$	_
(D.1 D.'l 1' 2021)	<u> </u>	•

(Dokumen Pribadi, 2021)

#### Keterangan:

<sup>\*</sup> AO(acid orange); VB(vat blue); DB(direct blue); SB(sulfur black); FBBS(fast blue b salt); RB(reactive black)

<sup>\*</sup> Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan dari hasil uji Duncan



Gambar 4.2 Grafik diameter koloni jamur *P.chrysosporium* (Dokumen Pribadi, 2021)

Berdasarkan hasil dari pengukuran diameter koloni jamur menunjukkan adanya pertumbuhan miselium kultur jamur *P. chrysosporium* pada beberapa media pewarna yang hampir memenuhi cawan petri yaitu pada media pewarna acid orange, vat blue, dan sulfur black. Pertumbuhan diameter koloni pada penelitian ini lebih tinggi daripada yang dilakukan oleh Kunjadia (2012), dimana pertumbuhan diameter koloni *Pleurotus ostreatus* (MTCC 142) pada zat warna *crystal violet* 50 ppm sebesar 1.4 cm pada inkubasi hari ke-10.

Hasil pengukuran diameter koloni jamur dinalisis menggunakan analisis statistik *One Way Anova* pada SPSS 16.0 seperti pada lampiran 2. Uji analisis diawali dengan uji normalitas. Pada uji tersebut dihasilkan nilai sig >0,05 sehingga data terdistribusi normal. Lalu pada uji homogenitas didapatkan nilai sig 0,088 (>0,05) artinya data homogen. Selanjutnya pada uji *One Way Anova* didapatkan nilai sig 0,035 (< 0,05). Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa rata-rata diameter koloni jamur pada semua jenis pewarna

menghasilkan perbedaan signifikan antar perlakuan dan dinyatakan H0 ditolak dan H1 diterima.

Berdasarkan hasil tersebut, dilanjukan 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 nmun aktivitasnya kecil sehingga zona bening tidak terlihat dibawah koloni dan juga adanya perubahan aktivitas pertumbuhan jamur. Pada kondisi lingkungan yang tidak mengutungkan, 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

peningkatan toksisitas pewarna yang menghambat pertumbuhan dan enzim ligninolitik jamur sehingga mengurangi penghilangan warna (Hadibarata *et al.*, 2013).

Uji degradasi ini menggunakan bantuan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur absorbansi pewarna pada media pada panjang gelombang 400-750 nm. Pemilihan panjang gelombang ini karena merupakan panjang gelombang sinar tampak. Degradasi zat pewarna tekstil dapat dilihat dari hasil perhitungan persentase dekolorisasi. Persentase degradasi dinyatakan seberapa besar persen penurunan intensitas zat pewarna tekstil yang dilakukan jamur *P. chrysosporium* dengan konsentrasi 100 mg/L. Hasil presentase degradasi pewarna oleh jamur ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil persentase degradasi pewarna tekstil sintetis oleh jamur P.

	7		
	Jenis Pewarna	Rata-rata Presentase	Uji One
	Tekstil sintesis	Degradasi ± Std. Deviasi (%)	Way Anova
	AO	16,53 ± 5,28 a	P = 0,000
1	RB	27,06 ± 12,96 a	
	VB	$50,37 \pm 22,14 \mathrm{b}$	
	DB	$51,88 \pm 1,26 \mathrm{b}$	
	SB	$88,01 \pm 4,14 \mathrm{c}$	
	FBBS	$82,78 \pm 13,53 \mathrm{c}$	

(Dokumen Pribadi, 2021)

#### Keterangan:

Berdasarkan tabel 4.4 hasil persentase degradasi menunjukkan bahwa jamur *P. chrysosporium* mendegradasi pewarna tekstil dengan konsentrasi 100 mg/L memperoleh hasil varian ada yang tinggi, sedang dan rendah. Pewarna *sulfur black* memperoleh persentase tinggi, pewarna *direct blue* memperoleh

<sup>\*</sup> AO(acid orange); VB(vat blue); DB(direct blue); SB(sulfur black); FBBS(fast blue b salt); RB(reactive black)

<sup>\*</sup> Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan dari hasil uji Duncan

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 *Homogenity 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 ratarata 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 H0 ≠ (ditolak) dan H1 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.

Hasil persentase degradasi yang berbeda-beda pada setiap pewarna oleh jamur *P.chrysosporium*. Hal tersebut disebabkan karena kemampuan jamur dalam mendegradasi pewarna berbeda-beda. Efektivitas penghilangan warna tergantung pada struktur dan kompleksitas pewarna sintetis (Minussi *et al.*, 2001; Ambrósio dan Campos-Takaki, 2004). Grafik persentase degradasi pewarna ditunjukkan pada gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik persentase degradasi pewarna tekstil sintetis oleh jamur *Phanerochaete* chrysosporium

(Dokumen pribadi, 2021)

Pada penelitian ini aktivitas jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam mendegradasi pewarna tekstil memperoleh hasil persentase degradasi pewarna tertinggi (Gambar 4.3) *sulfur black* sebesar 88,01% pada media cair dan hasil pertumbuhan jamur dengan menghitung koloni miselium, pewarna *sulfur black* juga menghasilkan diameter koloni terbesar kedua setelah *acid orange* sebesar 8,3 cm. Hal tersebut diduga aktivitas jamur *P.chrysosporium* dalam mendegradasi pewarna *sulfur black* pada media padat dan cair terjadi pemecahan struktur ikatan kimia pada pewarna *sulfur black* dan penyerapan

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.chrysosporium* lebih mudah dan cepat dalam merombak struktur pewarnanya dan memanfaatkan pewarna sebagai nutrisi. Pada media PDA dan CDB didalamnya mengandung sumber nitrogen seperti protein dan NaNO<sub>3</sub> untuk mensintesis asam amino dan dilanjutkan untuk mensintetsis 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 balck*. 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. chrysosporium* seperti lignin peroksidase & mangan peroksidase. Perosidase menghasilkan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang merupakan oksidator kuat yang bekerja tidak spesifik yang dapat mengoksidasi berbagai macam senyawa aromatik dari zat warna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O sehingga zat warna terdegradasi (Dhinata *et al.*, 2013).

Pada penelitian ini aktivitas jamur *P.chrysosporium* 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. Pengilangan 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 adsorbsi 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 deng 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:

إِنَّ فِي حَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاحْتِلَفِ الَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَأَيْتٍ لِأُوْلِي اَلْأَلْبَبِ (190) الَّذِيْنَ يَذْكُرُونَ اللَّهُ قِيَماً وَقُعُودًا وَعَلَى جُنُوكِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي حَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا حَلَقْتَ هَذَا بَطِلاً سُبْحَنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّر (191)

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka".

Dalam tafsir Quraisy shihab dalam ayat 190-191 surat ali-imron bahwa makna kata :

Ayat ini dan ayat-ayat selanjutnya menjelaskan sebagian dari ciri-ciri orang yang dinamai *ulul albab* yang telah disebutkan pada ayat yang lalu. Mereka adalah orang-orang baik laki-laki maupun perempuan yang terus mengingat Allah dengan ucapan atau hati, dan dalam seluruh situasi dan kondisi, saat bekerja sambil berdiri atau duduk atau keadaan berbaring atau bagaimanapun, dan mereka memikirkan tentang penciptaan yakni kejadian dan sistem kerja langit dan bumi, dan setelah itu berkata sebagai kesimpulan. Tuhan kami tiadalah engkau menciptakan alam raya dan segala isinya ini dengan sia-sia tanpa tujuan yang hak. Apa yang kami alami, atau dengar dari keburukan atau kekurangan, Maha Suci Engkau dari semua itu. Itu adalah ulah atau dosa dan kekurangan kami yang dapat menjerumuskan kami kedalam siksa neraka, maka peliharalah kami dari siksa neraka.

Hal ini dipahami dari sabda Rasullah 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).

## **BAB V**

#### **KESIMPULAN & SARAN**

# 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian pada uji potensi jamur *Phanerochaete chrysosporium* dalam mendegradasi pewarna tekstil dapat disimpulkan bahwa:

- Jamur P. chrysosporium berhasil mendegradasi semua pewarna tekstil pada media padat dengan adanya perubahan warna yang terlihat dari hari ke-15 dan hari ke-30 semakin memudar, namun zona bening pada media tidak terlihat
- 2. Jamur *P.chrysosporium* berhasil dalam mendegradasi pewarna pada media cair dengan didapatkan persentase degradasi tertinggi pada pewarna *sulfur black* sebesar 88,01% dan terjadinya perubahan warna.

# 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah:

- Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengkombinasikan dua jenis jamur atau lebih dengan menggunakan varian konsentrasi, pH, suhu yang mempengaruhinya dalam mendegradasi pewarna tekstil
- Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut menguji mekanisme enzim jamur dalam proses biodegradasi pewarna

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adnan, L. A., Yusof, A. R. M., Hadbibara, T., Khuidhair, A. B. 2014. Biodegradation of Bis-Azo Dye Reactive Black 5 by White-Rot Fungus *Trametes gibbosa* sp. WRF 3 and Its Metabolite Characterization. *Water Air Soil Pollut*, 14 (2): 1-9.
- Agustina, T. E., Dan Badewasta, H. 2009. *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cap Khas Palembang Dengan Proses Filtrasi dan Adsorpsi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2009, Bandung.
- Agustina, T. E., Nurisman, E., Prasetyowati, N., Haryani, L., Cundari, A., Novisa, dan Khristina, O. 2011. Pengolahan air limbah pewarna sintetis dengan menggunakan reagen fenton. *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*: 260-266.
- Aksu, Z., and Donmez, G. 2005. Combined Effects of Molasses Sucrose and Reactive Dye On The Growth and Dye Bioaccumulation Properties of *Candida tropicalis*. *Process Biochemistry*, 40: 2443-2454.
- Ali, Abdullah. Y. 2009. Tafsir Yusuf Ali Teks, Terjemahan dan Tafsir Qur'an 30 Juz. Litera Antarnusa, Bogor.
- Ambrosio, S. T., and Campos-Takaki, G. M. 2004. Decolorization of reactive azo dyes by Cunninghamella elegans UCP 542 under cometabolic conditions. *Bioresource Technology*, 91(1):69-75.
- Andrea Z., Barbara G., Astrid R. 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): 6711-6718.
- Ardhina A. 2007. Dekolorisasi Limbah Batik Tulis Menggunakan Jamur Indegenous Hasil Isolasi Pada Limbah Yang Berbeda. *Skripsi*. Bogor, ITB: 2-3.
- Ashari, K. 2013. Pengaruh Penambahan Pseudomonas aeruginosa Terhadap Biodegradasi DDT oleh *Pleurotus ostreatus*. ITS, Surabaya.
- Asih, Sri. 2016. Produksi, Purifikasi dan Karakterisasi Lakase dari *Pleurotus ostreatus* (Ho) dan *Schizophyllum commune* (Sc) pada Fermentasi Padat Limbah Lignoselulosa. *Tesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Benkhya, S., Harfi, S. E., and Harfi, A. E. 2017. Classification, Properties and Application of Textile Dyes: A Review. *J. Envir. Eng. Sci*, 3: 311-320.

- 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 Reasearch*, 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 Gubitz, 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 Elektroplatting. *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 Technolology*, 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 Bioconcersion and Enzyme Production. *African Journal Biotechnology*. 2: 602-619.
- Hunger, K. 2003. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications, Wiley-vch Verlan 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 <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=info&id=5306&|v|=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unclock">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=info&id=5306&|v|=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unclock</a>.

- 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 <a href="https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/C.I.-Soluble-Sulphur-Black-1">https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/C.I.-Soluble-Sulphur-Black-1</a>.
- Nisrina, L. F. Z., Aryani, L., and Hartini, E. 2020. Status Mutu Air Sungai Gede Kabupaten Jepara. *VISIKES*, 19 (1).
- Nugroho, and Sigit. 2013. Elektrodegredasi Indigosol Golden Yellow Irk 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 TiO2/SiO2", *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., Baskarasethupathi, 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.
- Senthilkhumar 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 Adorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian. Pendidikan dan Penerapan MIPA. Universitas Negeri Jogyakarta, Jogyakarta
- Wikolazka, A.J., Dest J.K.R., Malarczky E., Wardas W., Leo Nowicz A. 2002. Fungi and Their Ability to Decolorization Azo and Anthraquinonoc Dyes. *Enzime 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 WaktuInkubasi yang Berbeda. *Scripta Biologica*, 1(1): 73-77.
- Yahdiana. 2011. Studi Degradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Suspensi TiO2 (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. 20913. Dekolorisasi Limbah Cair Batik Menggunakan Misselium 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).