

## EKSPLORASI DAN UJI POTENSI JAMUR DARI LAHAN PERTANAMAN KENTANG DI KABUPATEN BREBES SEBAGAI REMEDIATOR CADMIUM (Cd)

### EXPLORATION AND POTENTIAL TEST OF FUNGI FROM POTATO CULTIVATED IN BREBES REGENCY AS REMEDIATOR OF CADMIUM (Cd)

Okti Herliana<sup>1\*</sup>, Wilis Cahyani<sup>1</sup>, Ahmad Fauzi<sup>1</sup>, Rostaman<sup>2</sup>, dan Shofiyatun Khasanah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Agroekologi Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

<sup>2</sup>Laboratorium Perlindungan Tanaman Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

<sup>3</sup>Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

\* Corresponding Author. E-mail address: okti.herliana@unsoed.ac.id

#### ARTICLE HISTORY:

Received: 8 November 2023

Peer Review: 8 January 2024

Accepted: 8 May 2025

#### KATA KUNCI:

Jamur, cadmium, remediasi

#### ABSTRAK

Kentang merupakan tanaman hortikultura sumber karbohidrat, petani menggunakan pupuk dan pestisida kimia sintetis dalam proses budidaya sehingga berpotensi meninggalkan cemaran logam berat cadmium di tanah. Akumulasi cadmium ditanah dan mengganggu kesehatan manusia. Upaya bioremediasi perlu dilakukan untuk menurunkan cemaran. Jamur tanah memiliki potensi sebagai agen remediasi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengeksplorasi, mengidentifikasi dan menguji kemampuan isolat jamur asal lahan pertanaman kentang di Kabupaten Brebes, serta menguji perkembahan padi pada media bekas remediasi. Sample tanah eksplorasi jamur diambil dari Lahan pertanaman kentang, dilanjutkan di Laboratorium Mikologi Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, pada bulan Januari sampai Oktober 2022. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dilanjutkan kualitatif dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) tiga isolat jamur dengan konsentrasi cadmium (0, 25, dan 50 ppm). Hasil penelitian menunjukkan ditemukan 4 isolat dari genus *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., dan *Penicillium* sp. Tiga isolat terbaik dari hasil uji toleransi cadmium yaitu isolat dengan kode PP4 (*Trichoderma* sp.), WS4 (*Fusarium* sp.), dan WS8 (*Aspergillus* sp.). Isolat *Trichoderma* sp. mampu menyisihkan logam berat dalam media konsentrasi Cd 25 ppm mencapai 92% dengan kapasitas biomassa 22,75 mg/g. Biomassa terbaik pada uji kemampuan remediasi yaitu pada isolat WS4 (*Fusarium* sp.) dengan kadar Cd 25 ppm yaitu 0,69 g. Uji perkembahan benih padi menunjukkan media yang sudah diaplikasikan jamur tidak mempengaruhi penurunan pertumbuhan perkembahan benih padi, bobot segar, tinggi tanaman, jumlah akar, panjang akar, dan daya perkembahan menunjukkan pertumbuhan yang sama dibanding kontrol.

#### ABSTRACT

*Potatoes are horticultural crops a source of carbohydrates, farmers use synthetic chemical fertilizers and pesticides in the cultivation so its potential to leave cadmium contamination in the soil. Cadmium accumulated in the soil and interfere with human health. Bioremediation need to reduce cadmium. Soil fungi have potential as remediation agents. The purpose of this study were to explore, identify and test the ability of fungal isolates from potato fields in Brebes Regency, then test rice germination on used remediation media. Soil samples for fungi exploration were taken from potato cultivation land and continued identified at the Plant Protection Mycology Laboratory, Faculty of Agriculture, Jenderal Soedirman University, from January to October 2022. The study used quantitative descriptive methods followed qualitatively with a non-factorial Randomized Complete Design (RCD) of three fungal isolates with cadmium concentrations (0, 25, and 50 ppm). The results showed that there were 4 isolates found and identified from the genera *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., and *Penicillium* sp.. The three isolates from cadmium tolerance test results are isolates with the codes PP4 (*Trichoderma* sp.), WS4 (*Fusarium* sp.), and WS8 (*Aspergillus* sp.). *Trichoderma* sp. in Cd concentration media of 25 ppm reaching 92% with a biomass capacity of 22.75 mg / g. The best biomass in the remediation ability test is in WS4 isolate (*Fusarium* sp.) with a Cd content of 25 ppm which is 0.69 g. The results of the rice seed germination test showed that the media that had been applied to the fungus did not affect the decrease in the growth of rice seed germination, wet weight, plant height, number of roots, root length, and germination showed the same growth compared to controls.*

#### KEYWORDS:

Cadmium, fungus, remediation

## 1. PENDAHULUAN

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan tanaman hortikultura penghasil karbohidrat dari famili *Solanaceae* (Kasegar et al., 2017). Kandungan gizi yang terdapat dalam kentang adalah lemak, kolesterol, sodium, serat, protein, vitamin C, kalsium, zat besi, dan vitamin B6 (Saputro et al., 2019). Dataran tinggi Paguyangan di Kabupaten Brebes merupakan salah satu sentra produsen kentang, tetapi pada tahun 2017-2021 mengalami penurunan produksi, hal ini dikarenakan penurunan kesuburan lahan dan serangan hama dan penyakit

Penggunaan pupuk dan pestisida secara intensif dilakukan untuk meningkatkan produktivitas kentang, namun ternyata menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, salah satunya residu logam berat dalam tanah. Kadmium memiliki nomor atom 48 dan bobot atom 112,41 g (Badan Standarisasi Nasional, 2009), logam ini berwarna putih perak, lunak, mengkilap dan tidak mudah larut dalam basa (Indirawati, 2017). Kadmium memiliki stabilitas dan toksitas tinggi, dan tidak mudah terdegradasi jika terlepas ke alam (Wijayanti & Lestari, 2017). Dampak negatif kadmium terhadap tanaman yaitu menurunkan aktivitas organisme, menurunkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman (Pramudita, 2019), menghilangkan kerja enzim dan metabolisme sel dan jaringan tanaman (Juhri, 2017), terjadi klorosis, kekurangan nutrisi, akar memendek, dan gugur daun (Hidayat, 2015). Dampak bagi kesehatan manusia menurut Acosta-Rodriguez et al. (2018) yaitu menyebabkan kekebalan tubuh melemah, gangguan kulit dan pernafasan, kerusakan ginjal dan hati, hipertensi, perubahan materi genetik, kanker dan neurologis Ahmad (2018),

Menurut Alloway (1995) dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (2003), batas maksimum logam berat kadmium dalam tanah adalah 2-3 ppm. Batas maksimum residu kadmium dalam buah, sayur, edible jamur, umbi, kacang, rumput laut dan biji-bijian yaitu 0,2 mg/kg, sehingga diperlukan upaya menghilangkan atau mengurangi kadar logam berat. Bioremediasi merupakan proses untuk mengurangi pulutan logam berat secara biologi atau menggunakan organisme hidup (Ahmad, 2018). Proses ini mampu menghancurkan, mengakumulasi atau sebagai absorben logam berat (Rosariastuti et al., 2020). Keunggulan lain diantaranya proses alami yang dapat diterapkan di tempat yang sulit dijangkau, tidak mahal, tidak menimbulkan masalah baru, dan ramah lingkungan (Chairiyah et al., 2013). Menurut Kapahi & Sachdeva (2019), isolat fungi memiliki kemampuan untuk menumpuk logam berat dalam tubuhnya secara efisien dan menjadikannya tidak tersedia atau mengurangi konsentrasi logam berat dalam media.

Isolat fungi dari akar *Tridax procumbens* L. yaitu *Aspergillus novofumigatus* dan *Aspergillus niger* mempunyai indeks toleransi terhadap kadar Cu 200 ppm sebesar 68,40% dan 45%. Dan pada kadar logam berat Cu 400 ppm yaitu mencapai 97,24% (Ekawati, 2019). Jamur *Trametes cubensis* asal Taman Wisata Alam Gunung Marapi, Sumatera Barat mampu mengakumulasi timbal di dalam selnya, dengan persentase biosorpsinya mencapai 94,44% (Martinus, 2022).

*Trichoderma asperellum* dilaporkan mampu mendegradasi 94,44% zat pewarna tekstil (Dylia, 2021). *Aspergillus* sp. mampu menoleransi Cd dan As dengan konsentrasi 100 ppm dan 500 ppm (Oladipo et al., 2016), *Aspergillus* sp. mengabsorpsi Pb sebesar 98,40% (Nuban et al., 2021), *A. niger* mampu menghilangkan logam berat Cr (100%), Zn (100%), Pb (59%) dan Cd (57%) (Acosta-Rodriguez et al., 2018). Melihat potensi beberapa jenis jamur sebagai agen mediator maka penelitian mengenai eksplorasi dan identifikasi jamur pada rizosfer tanaman kentang dan potensinya dalam mereduksi logam berat penting untuk dilakukan,

Penelitian ini bertujuan melakukan eksplorasi dan identifikasi isolat jamur dari lahan pertanaman kentang di Kabupaten Brebes, mengetahui kemampuan toleransi isolat jamur terhadap logam berat kadmium, dan menguji potensi remediasi isolat jamur terhadap logam berat kadmium.

## 2. BAHAN DAN METODE

Sampel tanah diambil dari lahan pertanaman kentang di Desa Pandansari, Kecamatan Paguyangan dan Desa Wanareja, Kecamatan Sirampog, Kabupaten Brebes dengan teknik *purposive sampling random*. Proses isolasi dilaksanakan di Laboratorium Mikologi Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Proses isolasi sampel tanah dimulai dengan pengenceran bertingkat sampai  $10^{-5}$ , kemudian dikultivasi dengan metode *pour plate* dan *spread plate* pada pengenceran  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-5}$ . Isolat yang didapatkan dimurnikan untuk mendapatkan isolat tunggal. Alat dan media untuk isolasi disterilisasi dengan autoklaf pada suhu  $121^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit.

Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan metode *slide culture* yaitu dengan memotong PDA (*Potato Dextrose Agar*) ukuran 1x1 cm diletakkan di atas gelas objek, isolat dioleskan ke media PDA dan ditutup menggunakan cover glass dan dimasukkan ke cawan petri kemudian diinkubasi selama 3 hari, kemudian dipindahkan ke gelas objek yang baru dan ditetesi *lactophenol blue* untuk selanjutnya diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40 kali (Hakim et al., 2020). Identifikasi meliputi warna, permukaan koloni, pertumbuhan koloni, bentuk koloni dan tepi koloni (Ristiari et al., 2018), yang mengacu pada buku determinasi fungi Wanatabe (2002) dan Navi et al. (1999).

Proses uji toleransi dilakukan untuk menguji tingkat toleransi jamur terhadap kondisi cekaman logam berat. Uji toleransi dilakukan selama 5 hari dengan konsentrasi kadmium dalam media PDA yaitu 5, 10, 25 dan 50 ppm. Semua isolat yang didapatkan ditumbuhkan pada media PDA dengan konsentrasi Cd yang berbeda. Tiga isolat dengan hasil uji toleransi yang terbaik digunakan sebagai sampel dalam uji kemampuan remediasi logam berat kadmium (Cd). Rancangan yang digunakan dalam uji toleransi dan kemampuan remediasi menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 9 perlakuan yaitu isolat 1 tanpa cemaran Cd, isolat 1 dengan Cd 25 ppm, isolat 1 dengan Cd 50 ppm, isolat 2 tanpa cemaran Cd, isolat 2 dengan Cd 25 ppm, isolat 2 dengan Cd 50 ppm, isolat 3 tanpa cemaran Cd, isolat 3 dengan Cd 25 ppm, dan isolat 3 dengan Cd 50 ppm.

Isolat jamur diambil sebanyak 8 kali cuplikan menggunakan bor gabus ukuran 10 mm, kemudian dimasukkan ke dalam larutan PDB (*Potato Dextrose Broth*) 100 ml dengan konsentrasi 0, 25 dan 50 ppm. Kultur diinkubasi menggunakan shaker selama 7 hari pada suhu ruang dengan kecepatan 150 rpm. Analisis kandungan logam berat dilakukan menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) pada hari ke-7 setelah biomassa jamur diambil menggunakan kertas *Whatman* No.42. Biomassa jamur kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam agar beratnya konstan. Variabel pengukuran yang dilakukan pada uji kemampuan isolat untuk meremediasi logam berat kadmium (Cd) yaitu efisiensi biosorpsi, kapasitas biosorpsi, dan biomassa miselium yang dihitung menggunakan persamaan berikut (Ekawati, 2019).

$$Q(\%) = \frac{Co-Ce}{Co} \times 100 \quad (1)$$

$$qe = \frac{(Co-Ce) \times V}{m} \quad (2)$$

$$M = M_0 - M_1 \quad (3)$$

Keterangan: Q = Efisiensi biosorpsi (%); qe = Kapasitas biosorpsi (mg/g); Co = Konsentrasi kadar logam awal (mg/L); Ce = Konsentrasi kadar logam akhir (mg/L); m = Massa biosorben (g); V = Volume media PDB (L); M = Massa miselium jamur; M<sub>0</sub> = Berat kertas saring; M<sub>1</sub> = Berat kertas saring + miselium jamur.

Uji perkecambahan pada benih padi dengan media bekas remediasi dilakukan untuk menguji bahwa media yang telah diremediasi dapat digunakan untuk menumbuhkan benih padi. Benih padi yang ditumbuhkan 10 biji per cawan, dialasi kertas merang dalam kondisi lembab. Pengujian ini dilakukan selama 14 hari variabel pengamatan diantaranya tinggi tanaman, jumlah akar, panjang akar, bobot segar, dan daya kecambah yang dihitung berdasarkan persamaan berikut (Nurhafidah et al., 2021).

$$\text{Daya Kecambah (\%)} = \frac{\text{Jml kecambah}}{\text{Jml total benih}} \times 100\% \quad (4)$$

Data hasil eksplorasi, identifikasi isolat jamur, dan uji toleransi terhadap logam berat kadmium (Cd) ditampilkan secara deskriptif. Data kuantitatif dianalisis menggunakan ANOVA dilanjutkan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kesalahan 5%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Identifikasi Isolat Hasil Eksplorasi

Eksplorasi jamur dari lahan pertanaman kentang di Kabupaten Brebes menghasilkan 13 isolat, yakni 4 isolat berasal dari Desa Pandansari, Kecamatan Paguyangan (PP) dan 9 isolat berasal dari Desa Wanareja, Kecamatan Sirampog (WS). Isolat jamur berhasil diisolasi dan diamati secara morfologi meliputi pengamatan makroskopis dan mikroskopis dengan kode isolat PP1, PP2, PP3, PP4, WS1, WS2, WS3, WS4, WS5, WS6, WS7, dan WS8. Identifikasi morfologi menurut Susilowati (2020) perlu dilakukan sebagai dasar pengamatan untuk melakukan identifikasi pada kapang yang belum diketahui namanya. Pengamatan makroskopis setiap isolat yang disajikan dalam Tabel 1.

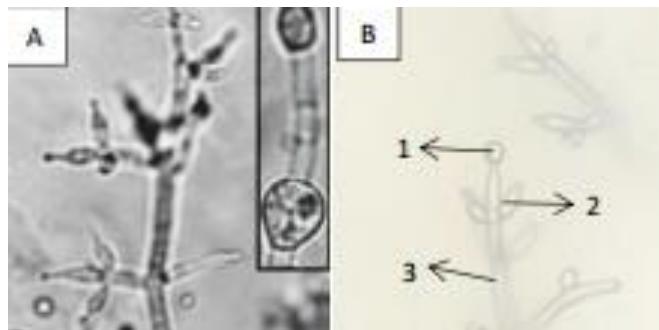
Berdasarkan hasil pengamatan morfologi jamur baik secara makroskopis dan mikroskopis didapatkan 4 genus jamur yang teridentifikasi yaitu 7 isolat asal genus *Trichoderma*, 3 isolat asal genus *Aspergillus*, 1 isolat asal genus *Penicillium*, dan 1 isolat asal genus *Fusarium* serta satu isolat jamur yang belum teridentifikasi yaitu isolat WS9. *Trichoderma* merupakan jenis jamur yang sangat mudah ditemukan di berbagai substrat seperti udara, tanah, kayu, dan lainnya (Wijaya, 2018). Terdapat 7 isolat *Trichoderma* sp. hasil eksplorasi dari 13 total isolat yang ditemukan. Isolat tersebut diantaranya PP1, PP4, WS1, WS2, WS3, WS5, dan WS7. *Trichoderma* sp. diamati secara makroskopis meliputi permukaan koloni yang membentuk circular dengan tekstur beludru halus atau kapas halus, tepinya rata, warna koloni mula-mula putih kemudian bagian tengah menjadi kehijauan berbentuk lingkaran dengan tepi berwarna putih.

Pertumbuhan dan warna koloni setiap *Trichoderma* sp. yang ditemukan berbeda-beda, hal ini dapat disebabkan respon jamur terhadap media berbeda. Menurut Susilowati *et al.*, (2020) *Trichoderma* sp. memiliki koloni berwarna putih dengan miselia yang padat atau longgar. Warna koloni dipengaruhi oleh pigmen fialosfor, jumlah spora, dan pH medium. Pertumbuhan morfologi koloni jamur bergantung pada media yang digunakan, semakin banyak nutrisi pada media, koloni yang terlihat putih, dengan konidia berwarna kuning, hijau, atau putih (Gambar 1.)

Tabel 1. Karakteristik Morfologi Isolat Jamur

No.	Kode Isolat	Permukaan Koloni	Bentuk Koloni	Tepi Koloni	Warna
1.	PP1	Beludru halus	Circular	Rata	Putih kekuningan
2.	PP2	Butiran halus	Circular	Rata	Hijau kekuningan
3.	PP3	Kapas	Circular	Tidak rata	Putih susu
4.	PP4	Beludru halus	Circular	Rata	Putih kehijauan
5.	WS1	Kapas halus	Circular	Rata	Putih bening
6.	WS2	Beludru	Irregular	Tidak rata	Putih susu
7.	WS3	Beludru	Circular	Rata	Putih bening
8.	WS4	Kapas halus	Irregular	Tidak rata	Putih kekuningan
9.	WS5	Beludru	Irregular	Tidak rata	Putih bintik hijau
10.	WS6	Beludru	Circular	Rata	Hijau
11.	WS7	Kapas halus	Circular	Rata	Putih kekuningan
12.	WS8	Kapas halus	Circular	Rata	Hijau kekuningan
13.	WS9	Kapas	Irregular	Rata	Putih kecoklatan

Keterangan: PP 1, 2, 3, dan 4: isolat asal Desa Pandasari, Kec. Paguyangan; WS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9: isolat asal Desa Wanareja, Kec. Sirampog.



Gambar 1. Morfologi mikroskopis isolat *trichoderma* sp. A = mikroskopis menurut literatur (Wanatabe, 2002); B = (1) Konidia, (2) fialid, (3) Cabang konidiofor pada mikroskop perbesaran 40 kali (Sumber: Dokumentasi pribadi).

Berdasarkan Wanatabe (2002), ciri-ciri dari jamur *Trichoderma* sp. yaitu konidiofor berbentuk hialin, tegak, bercabang, massa spora ada pada apikal fialid, konidia berbentuk globose, subglobose atau ovate, dan bersel satu. Koloni jamur pada PDA ada beberapa perbedaan diantaranya koloni berwarna putih kehijauan, hijau tua kekuningan, putih kekuningan dan sedikit kehijauan, dan kuning kehijauan. Tripathi *et al.* (2013) menjelaskan bahwa *Trichoderma* berpotensi dalam bioremediasi beberapa polutan asing diantaranya senyawa organophosphate dalam pestisida, logam berat, *crud oil*, PGPR, logam berat dalam *oil sludge*, dan sebagainya. *Trichoderma asperellum* juga mampu mendegradasi zat pewarna tekstil dengan presentase 94,44% (Dylia, 2021).

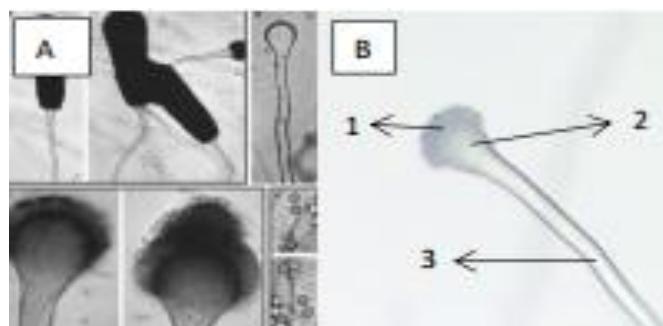
Isolat yang diidentifikasi dari genus *Aspergilus* sp. yaitu isolat jamur dengan kode PP2, PP3, dan WS8. Ketiga isolat yang ditemukan memiliki kesamaan pada penampakan makroskopisnya yaitu memiliki warna koloni hijau kekuningan dan berwarna putih, bentuk koloni circular dengan bentuk lingkaran yang mudah dibedakan, tepian rata dan memiliki tekstur beludru. Pengamatan mikroskopis pada isolat *Aspergilus* sp. yaitu hifa tidak bersekat, memiliki vesikel, konidia berbentuk bulat (*globose*) berwarna hijau dan konidioor tidak bercabang. Menurut Wanatabe (2002), fungi *Aspergilus* sp. memiliki ciri warna koloni hijau keabuan, hitam homogen, hijau tua, hijau kekuningan tua seperti beludru, hijau kekuningan, pucat kekuningan sampai hijau kekuningan. Menurut Kallang (2019), *Aspergilus niger* memiliki spora yang berwarna coklat hingga hitam dengan warna sebalik putih, tepian koloni rata, bentuk koloni *umbonate* dan pertumbuhannya cepat. Menurut Cyrilla *et al.* (2018), isolat *Aspergilus* sp. yang berhasil dieksplorasi memiliki ciri makroskopis koloni berbentuk filamen berwarna kuning kehijauan dan hitam, bertekstur beludru dengan konsistensi koloni kering. Secara mikroskopis isolat *Aspergilus* sp. memiliki hifa, konidia, konidiofor, dan vesikel. Isolat *Aspergilus* sp. ini telah diidentifikasi spesiesnya yaitu *A. niger* dan *A. flavus*. Berikut gambar morfologi mikroskopis dari isolat *Aspergilus* sp.

*Aspergilus* sp. merupakan fungi yang mudah dibiakan dalam media agar, ramah lingkungan dan bernilai ekonomis sehingga banyak yang menggunakannya. *Aspergilus* sp. dapat dijumpai di lingkungan sekitar seperti pada tanah, air, udara, tanaman, makanan, dan pakan. *Aspergilus niger* dalam penelitian Kallang (2019) memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar besi dalam sedimen IPAL sebesar 40,02%. Hakim (2020) menjelaskan bahwa *A. niger*, *A. flavus*, *Penicillium* sp., dan *Fusarium* sp. memiliki kemampuan toleransi pada media dengan tingkat salinitas tinggi yaitu 150%. Menurut Nuban *et al.* (2021), *Aspergilus niger* amobile digunakan dalam penelitiannya untuk biosorpsi timbal (Pb) pada larutan dengan tingkat teradsorpsinya timbal sebesar 98,40% dari konsentrasi awal 80 ppm dan 3 g adsorben.

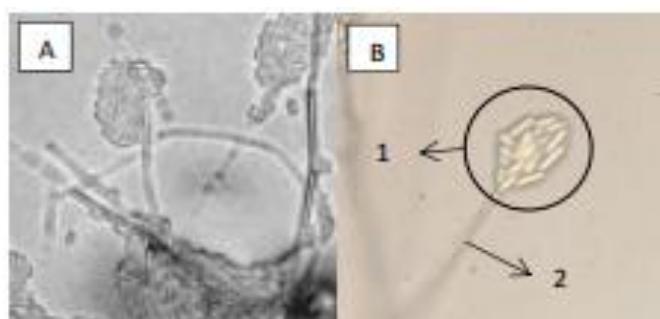
*Fusarium* sp. merupakan fungi yang telah diidentifikasi pada isolat dengan kode WS4. Fungi ini memiliki karakteristik makroskopis diantaranya berwarna putih kekuningan dengan warna sebalik kuning, bentuk koloni irregular dengan tepian tidak rata, hifanya memiliki elevasi yang *raised*, dan teksturnya kapas halus. Hasil identifikasi isolat ini didasarkan pada buku determinasi Wanatabe

(2002) dan Navi *et al.* (1999) yang menjelaskan bahwa fungi *Fusarium* sp. memiliki karakteristik diantaranya warna koloni putih disertai dengan warna ungu, miseliumnya berbentuk tepung, massa spora berwarna cokelat hingga oranye dengan bentuk dan ukuran yang tidak beraturan. Berikut gambar morfologi mikroskopis isolat *Fusarium* sp.

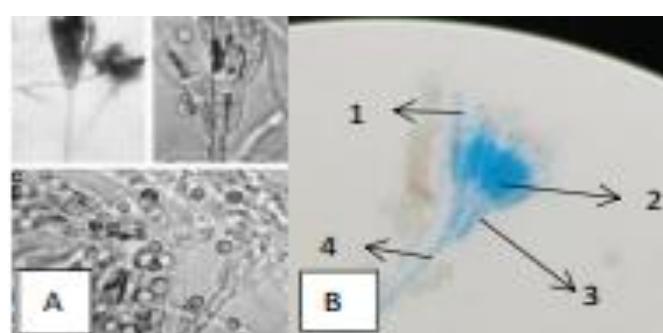
*Penicilium* sp. merupakan fungi yang telah diidentifikasi pada isolat dengan kode WS6. Karakteristik makroskopis isolat ini diantaranya koloni berwarna hijau tua, warna sebalik koloni putih kekuningan, bentuk koloni circular dengan tepian rata, dan bertekstur beludru. Berdasarkan hasil identifikasi oleh Anggraeni & Usman (2015) bentuk makroskopis dari isolat koloni *Penicilium* sp. berwarna abu-abu kehijauan dan abu-abu. Warna koloni awalnya putih kemudian berubah menjadi abu-abu kehijauan, kadang kuning atau kemerah-merahan dengan warna sebalik biasanya berwarna kuning pucat. *Penicilium* sp. mempunyai tekstur beludru atau kapas halus dengan pertumbuhan sedang dan tidak memiliki elevasi. Sedangkan pada karakteristik mikroskopis isolat *Penicilium* sp. memiliki ciri-ciri yaitu hifa hialin, mempunyai sekumpulan fialid, dan konidia berbentuk bulat dan uniseluler.



Gambar 2. Morfologi mikroskopis isolat *aspergilus* sp. A. mikroskopis menurut literatur (Wanatabe, 2002); B. (1) konidia, (2) vesikel, (3) konidiofor (Sumber: Dokumentasi pribadi).



Gambar 3. Morfologi mikroskopis isolat *fusarium* sp. A. Mikroskopis menurut literatur (wanatabe, 2002); b. (1) konidia, (2) konidiofor (Sumber: dokumentasi pribadi).



Gambar 4. Morfologi mikroskopis isolat *penicillium* sp. A. Mikroskopis menurut literatur (wanatabe, 2002); b. (1) konidia, (2) fialid, (3) metula, (4) konidiofor (Sumber: dokumentasi pribadi).

Pengamatan secara mikroskopis pada isolat *Penicillium* sp. diantaranya hifa hialin memiliki konida berbentuk bulat, fialid, metula, dan konidiofor. Ciri-ciri isolat fungi *Penicillium* sp. berdasarkan buku identifikasi fungi Navi et al. (1999) diantaranya fialid pendek, konidiofor bercabang, konidia berbentuk elips dengan panjang 3,0-3,5  $\mu\text{m}$ , tersusun rapat dan rantainya tidak teratur. Isolat ini mudah dikenali dari adanya penicilli yang terdiri dari 3-5 metula yang berbeda dan biasanya bervesikel, memiliki kolom konidia yang panjang dan bebrbatas tegas. Koloni berwarna abu-abu agak kehijauan pada media agar ragi Czapek dan agar ekstrak malt. Menurut Wanatabe (2002), isolat penicillium memiliki konidiofor hialin, tegak, penicilli bercabang di puncak dengan 2-3 metula, fialid verticillate pada setiap metula dan agak agregat. Konidia hialin atau coklat kekuningan dalam massa, berbentuk bulat telur, dan bersel satu. Penampakan isolat ini yaitu warna permukaan koloni hijau keabu-abuan pucat, putih dengan merah muda, warna sebaliknya kekuningan pucat, teksturnya berbulu atau beludru. Berikut disajikan gambar morfologi mikroskopis isolat *Penicillium* sp.

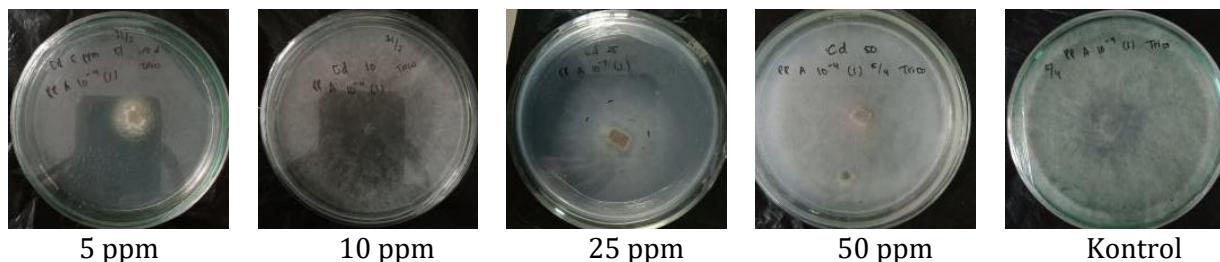
Deng et al. (2013) menunjukkan bahwa *Penicillium chrysogenum* mampu melakukan *bioleaching* untuk menghilangkan kandungan logam berat Cu, Pb, Zn, Mn, dan Cr sampai 74%, 59%, 24%, 55%, 57%, dan 25%. Menurut Khodja et al. (2018), remediasi logam berat menggunakan *Penicillium* hasilnya meningkat seiring meningkatnya konsentrasi logam berat. Pencapaian maksimum remediasi untuk masing-masing 5 mg/L kadmium dan timbal yaitu 35,6% dan 81,99%. ini menunjukkan bahwa *Penicillium* sp. dapat dijadikan biosorben untuk menghilangkan logam berat dari air limbah.

### 3.2 Uji Toleransi Isolat Jamur terhadap Logam Berat Kadmium (Cd)

Uji toleransi isolat bertujuan untuk menentukan kemampuan isolat jamur dalam beradaptasi di lingkungan tercemar logam berat. Uji ini dilakukan pada media PDA dengan konsentrasi kadmium 5, 10, 25, dan 50 ppm. Pertumbuhan isolat jamur diamati selama 5 hari. Tiga isolat dengan pertumbuhan terbaik pada uji toleransi akan dipilih pada uji kemampuan remediasi logam berat kadmium. Pemilihan isolat dikelompokkan lagi berdasarkan genus yang diidentifikasi.

Berdasarkan hasil uji toleransi didapatkan bahwa semua isolat jamur yang telah diisolasi memiliki kemampuan beradaptasi di lingkungan yang tercemar logam berat kadmium. Pertumbuhan isolat pada media PDA dengan kandungan logam berat mengalami tekanan sehingga pertumbuhannya terhambat dibandingkan dengan isolat yang ditumbuhkan pada media PDA biasa (kontrol). Setiap isolat memiliki kemampuan pertumbuhan yang berbeda-beda ditandai dengan tumbuhnya miselia pada semua variasi konsentrasi kadmium. Isolat yang memiliki pertumbuhan terbaik pada media dengan konsentrasi kadmium 5, 10, 25 dan 50 ppm masing-masing yaitu PP3, WS3, WS1, dan PP4. Terdapat isolat yang tumbuh paling baik di konsentrasi 5 ppm, kemudian menurun di konsentrasi 10, 25 dan 50 ppm, dan ada pula yang hidup dengan baik sampai konsentrasi 50 ppm walaupun pertumbuhannya terhambat.

Isolat yang terpilih untuk uji potensi remediasi logam berat yaitu PP4, WS4, dan WS8 dari jamur genus *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., dan *Aspergillus* sp. Isolat *Penicillium* sp. tidak terpilih untuk uji remediasi karena kemampuannya yang lebih rendah dibandingkan isolat yang lain ditandai dengan tidak tumbuhnya miselia dan perlakan mengecil luas permukaannya dan mati. Pertumbuhan *Penicillium* sp. mengalami penghambatan pada konsentrasi Cd 10, 25 dan 50. Menurut Dimawarnita et al. (2017), pertumbuhan jamur pada media PDA dengan konsentrasi merkuri 5 dan 10 ppm tertekan dan ada yang tidak tumbuh. Hal ini dipengaruhi kemampuan jamur dalam mendetoksifikasi logam berat. Pertumbuhan mengalami cekaman dan gagal tumbuh. jamur yang diinokulasi pada media yang tercemar menunjukkan adanya proses dalam mengolah logam berat.



Gambar 5. Isolat genus *Trichoderma* sp. (kode isolat PP4: Pandansari, Paguyangan)



Gambar 6. Isolat genus *Fusarium* sp. (kode isolat WS4: Wanareja, Sirampog)



Gambar 7. Isolat genus *Aspergillus* sp. (kode isolat WS8: Wanareja, Sirampog)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa isolat dari lokasi pengambilan sample yang berbeda menunjukkan pertumbuhan koloni yang berbeda saat ditumbuhkan pada media yang diberi cemaran kadmium, isolat yang masih menunjukkan pertumbuhan koloni menunjukkan resistensi, semakin tinggi kandungan kadmium pertumbuhan koloni semakin kecil. Menurut Wijaya (2018), kemampuan isolat yang ditumbuhkan pada media dengan konsentrasi timbal yang berbeda ditunjukkan pada pertumbuhan diameter koloni. Peningkatan konsentrasi timbal memacu pembentukan spora oleh isolat jamur. Pembentukan spora merupakan salah satu respon mikroorganisme dalam beradaptasi dan bertahan pada kondisi media yang mengandung logam berat. Oladipo *et al.* (2016) menyatakan bahwa faktor yang dapat meningkatkan toleransi jamur terhadap polutan yaitu bertahan hidup dalam kondisi yang ekstrim dengan mengembangkan percabangan hifa dan mengeluarkan enzim ekstraseluler biodegradatif. Munculnya spesies jamur yang dapat menoleransi logam berat menunjukkan bahwa jamur tersebut mempunyai peran potensial untuk remediasi lahan tercemar logam berat. Kemampuan toleransi jamur juga bervariasi tergantung dari kemampuan isolat dalam beradaptasi bukan dari sumber isolasi.

### 3.3 Uji Kemampuan Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd)

Berdasarkan hasil analisis uji remediasi berpengaruh nyata terhadap biomassa, kapasitas biosorpsi dan efisiensi biosorpsi. Biomassa isolat WS4 dengan konsentrasi kadmium (Cd) 25 ppm berbeda nyata dengan isolat WS4 non Cd, PP4 Cd 25, WS8 Cd 25, PP4 Cd 50 dan WS8 Cd 50. Isolat WS4 Cd 25 memiliki nilai rata-rata biomassa terbaik yaitu 0,69 Hasig. Sedangkan pada isolat PP4 Cd

25 ppm memiliki rata-rata terendah biomassa yaitu 0,10 g. Berikut disajikan gambar grafik biomassa hasil uji kemampuan remediasi logam berat kadmium (Cd).

Peningkatan konsentrasi pada setiap genus jamur memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap biomassa jamur. Pada genus *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. yaitu isolat PP4 dan WS8, biomassa jamur terbaik terdapat pada media non Cd. Hal ini diduga isolat jamur tumbuh dengan baik pada media PDB non Cd dimana nutrisinya terpenuhi. Sedangkan pada media dengan kandungan kadmium, pertumbuhan isolat jamur tertekan sehingga jamur tidak tumbuh dengan baik. Pada isolat *Fusarium* sp. yaitu WS4, biomassa jamur terbaik terdapat pada media PDB dengan Cd 50 ppm. Hal ini diduga isolat WS8 mampu menoleransi kandungan kadmium dalam media pertumbuhannya. Nongmaithem *et al.*, (2016) menyatakan bahwa isolat *Trichoderma* mengalami penurunan biomassa dengan bertambahnya konsentrasi kadmium yang diberikan. Biosorpsi logam dipengaruhi oleh kondisi pH media, biomassa mikroorganisme, waktu kontak, dan suhu. Biomassa jamur dapat menurun karena luas permukaan pada media berkurang, disebabkan oleh pertumbuhan yang terhambat (Setiawan *et al.*, 2019).

Kapasitas biosorpsi merupakan kemampuan suatu isolat dalam meremediasi logam berat perbobot massa biosorbennya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan PP4 Cd 25 tidak berbeda signifikan dengan PP4 Cd 50, tetapi berbeda dengan WS8 Cd 25, WS8 Cd 50, WS4 Cd 25, dan WS4 Cd 50. Jika dilihat dari hasil penelitian, isolat WS4 Cd 25 memiliki kapasitas biosorpsi paling rendah yaitu 1,27 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa makin tinggi penurunan kadar logam berat oleh isolat, makin tinggi pula penyerapan logam dalam biomassanya. Menurut Yustinah *et al.* (2020), kualitas suatu adsorben (isolat jamur) ditentukan dari banyaknya logam berat yang terjerap dan sisanya dalam larutan, Menurut Setiawan *et al.*, (2019) logam berat dapat kembali terabsorpsi oleh larutan media karena kandungan logam berat dalam isolat jamur terlalu jenuh sehingga luas permukaan biosorben menurun. Isolat PP4 merupakan isolat jamur dari genus *Trichoderma* sp., isolat ini memiliki kapasitas biosorpsi tertinggi yaitu 22,75 mg/g dan 11,51 mg/g.

*Trichoderma* sp. efisien mengabsorpsi logam berat kadmium 25 ppm dan 50 ppm yaitu berkisar 0,91-0,93% dalam kurun waktu 7 hari. Hasil tersebut berbeda nyata dengan isolat WS8 Cd 25, WS8 Cd 50, WS4 Cd 25, dan W4S Cd 50. Isolat WS8 Cd 25 memiliki efisiensi biosorpsi yang terendah dibandingkan yang lain. Selain itu, isolat WS8 Cd 25 juga sama rendahnya dengan biomassa dan kapasitas biosorpsinya daripada yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa isolat yang banyak mampu menurunkan konsentrasi logam berat yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penghambatan pada pertumbuhan isolat dalam media tercemar namun proses absorbsinya tidak terganggu. Terdapat kemungkinan juga bahwa biomassa isolat menurun seiring lamanya pengaplikasian dan tingginya kadar logam berat dalam media.

Faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi, salah satunya pH media, karena dapat mempengaruhi ketersediaan logam berat dan kereaktifan gugus fungsional dalam menyerap ion logam Fibriarti *et al.*, (2019). Menurut Setiawan *et al.*, (2019) semakin besar nilai pH maka persen removal Cu (II) semakin tinggi. Faktor pH berpengaruh terhadap spesies ion logam di dalam larutan. Ion logam dalam larutan sebelum diabsorpsi terlebih dahulu mengalami hidrolisis menghasilkan proton. Jika kompleks hidrokso logam terbentuk lebih banyak dan permukaan dari biosorben akan bermuatan negatif maka akan terjadi adhesi melalui gaya elektrostatik yang menyebabkan meningkatnya adsorpsi logam. Selain faktor pH, waktu pengaplikasian juga berpengaruh terhadap persen biosorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak dalam pengaplikasian maka persen removal akan semakin rendah.

Tabel 2. Hasil Uji Kemampuan Logam Berat Kadmium (Cd)

Perlakuan	Biomassa (g)	Kapasitas biosorpsi (mg/g)	Efisiensi biosorpsi (%)
<i>Trichoderma</i> sp. Non Cd	0,57 abc	-	-
<i>Aspergillus</i> sp. Non Cd	0,56 abc	-	-
<i>Fusarium</i> sp. Non Cd	0,31 cde	-	-
<i>Trichoderma</i> sp. Cd 25	0,10 e	22,75 a	92 a
<i>Aspergillus</i> sp. Cd 25	0,19 de	1,27 e	3 e
<i>Fusarium</i> sp. Cd 25	0,69 a	0,84 d	23 d
<i>Trichoderma</i> sp. Cd 50	0,40 bcd	11,51 a	91 a
<i>Aspergillus</i> sp. Cd 50	0,40 bcd	7,16 c	45 c
<i>Fusarium</i> sp. Cd 50	0,65 ab	5,73 b	73 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT 5%; (-): tidak terdapat penyerapan logam berat.

Tabel 3. Hasil Uji Perkecambahan Padi pada Media Bekas Uji Remediasi

Perlakuan	Bobot segar (g)	Tinggi tanaman (cm)	Panjang akar (cm)	Jumlah akar	Daya kecambahan
Kontrol	0,17	3,67	2,81	4,77	9,67
<i>Trichoderma</i> sp. non Cd	0,10	2,71	1,99	3,67	6,67
<i>Trichoderma</i> sp. Cd 25	0,11	2,96	1,32	3,57	9,00
<i>Trichoderma</i> sp. Cd 50	0,13	3,83	2,23	4,37	10,00
<i>Aspergillus</i> sp. non Cd	0,12	2,92	1,68	2,84	6,00
<i>Aspergillus</i> sp. Cd 25	0,08	2,25	1,22	2,77	5,67
<i>Aspergillus</i> sp. Cd 50	0,10	3,09	1,68	3,10	8,33
<i>Fusarium</i> sp. non Cd	0,12	3,82	1,58	3,90	9,67
<i>Fusarium</i> sp. Cd 25	0,14	3,57	1,93	3,80	8,67
<i>Fusarium</i> sp. Cd 50	0,09	3,54	1,17	3,56	9,67
F hitung	0,5589	0,5256	0,8119	0,5562	1,6216
F tabel	2,3928	2,3928	2,3928	2,3928	2,3928

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT 5%; Kontrol: tanpa jamur dan logam berat kadmium.

### 3.4 Uji Perkecambahan

Uji perkecambahan dilakukan pada benih padi dengan media bekas uji remediasi. Uji dilakukan selama 14 hari. Pengamatan yang dilakukan diantaranya pengukuran tinggi tanaman, panjang akar, jumlah akar, bobot segar dan daya perkecambahan (Tabel 3.). Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata pada bobot segar, tinggi tanaman, jumlah akar, panjang akar, dan daya perkecambahan. Pertumbuhan benih padi yang diamati selama 14 hari mengalami proses pertumbuhan yang lambat baik pada perlakuan kontrol maupun penggunaan media bekas remediasi. Pertumbuhan tanaman padi pada semua media yang tidak berbeda nyata ini karena padi bukan termasuk tanaman hiperakumulator. Selain itu, media yang digunakan untuk uji perkecambahan ini yaitu media PDB (*Potato Dextrose Broth*), akuades dan menggunakan kertas merang sebagai media tanamnya. Hal ini juga menunjukkan bahwa benih padi hidup pada lingkungan yang tidak terpenuhi nutrisinya, sehingga pertumbuhan padi di perlakuan kontrol atau media akuades terhambat dan terjadi klorosis. Menurut Inaya et al. (2021), tanaman yang kekurangan nitrogen menunjukkan gejala klorosis atau tanaman menjadi hijau pucat dan kuning mulai dari bagian bawah sampai atas atau seluruh bagian tanaman.

### 4. KESIMPULAN

Isolat jamur yang berhasil diisolasi dari lahan pertanaman kentang di Kabupaten Brebes sebanyak 13 isolat. Isolat diidentifikasi dari 4 genus yaitu *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium*

sp., *Fusarium* sp. Semua isolat memiliki kemampuan toleransi pada media PDA dengan konsentrasi kadmium 5, 10, 25, dan 50 ppm. Isolat terbaik dari hasil uji toleransi logam berat kadmium yaitu isolat PP4 (*Trichoderma* sp.), WS4 (*Fusarium* sp.), dan W8 (*Aspergillus* sp.). Penyerapan logam berat kadmium terbaik terdapat pada isolat Pandansari Paguyangan 4 yaitu dari genus *Trichoderma* sp. dengan kadar Cd 25 yang diserap sebesar 92% dan kapasitas biosorpsi 22,75 mg/g. Uji perkecambahan padi dengan media bekas uji remediasi menunjukkan bahwa jamur mampu membuat media dapat digunakan untuk membibitkan padi.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih atas fasilitasi pendanaan oleh LPPM Universitas Jenderal Soedirman pada skema Riset Dasar tahun 2022, Laboratorium Perlindungan Tanaman dan Laboratorium Agroekologi Fakultas Pertanian atas dukungannya.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Acosta-Rodríguez, I., J.F. Cárdenas-González, A.S. Rodríguez Pérez, J.T. Oviedo, & V.M. Martínez-Járez. 2018. Bioremoval of different heavy metals by the resistant fungal strain *Aspergillus niger*. *Research Article: Bioinorganic Chemistry and Applications*. 3457196:1-7
- Ahmad, R.Z. 2018. Mikoremediasi menghilangkan polusi logam berat pada lahan tambang untuk lahan peternakan. *Wartazoa*. 28(1): 41-50.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metal in Soils: Second Edition*. Blackie Academic and Profesional. Glasgow. UK.
- Anggraeni, D.N. & M. Usman. 2015. Uji aktivitas dan identifikasi jamur rhizosfer pada tanah perakaran tanaman pisang (*Musa paradisiaca*) terhadap jamur fusarium. *BioLink*. 1(2): 89-98.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *SNI 7387: 2009: Tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Chairiyah, R.R., H. Guchi, & A. Rauf. 2013. Bioremediasi tanah tercemar logam berat Cd, Cu, dan Pb dengan menggunakan endomikoriza. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(1): 348-361.
- Cyrilla, R. C., D. Humairoh, & F.V. Nela. 2018. Isolasi dan Identifikasi Jamur *Aspergillus* sp. pada Sumur di Desa Sanan Kabupaten Tulungagung dengan Metode Pengenceran. In *Prosiding SINTESIS (Seminar Nasional Sains, Teknologi dan Analisis) Ke-1*. pp. 156-160.
- Deng, X., L. Chai, Z. Yang, C. Tang, Y. Wang, & Y. Shi. 2013. Bioleaching mechanism of heavy metals in the mixture of contaminated soil and slag by using indigenous *Penicillium chrysogenum* strain F1. *Journal of Hazardous Materials*, 248-249: 107-114.
- Dimawarnita, F., T. Panji, & S. Mulyoprawiro. 2017. Biosorpsi ion merkuri menggunakan jamur pelapuk putih imobil. *E-Journal Menara Perkebunan*. 85(1): 28-36.
- Dylia, D.O. 2021. Uji potensi *Trichoderma asperellum* sebagai agen biodegradasi pewarna tekstil secara *in vitro*. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. Surabaya.
- Ekawati, A.Y. 2019. Optimalisasi biosorpsi oleh fungi endofit akar *Tricax procumbens* dari tanah tercemar tembaga (Cu) di Pertambangan Minyak, Bojonegoro, Jawa Timur. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Hakim, L., R. Kurniatuhadi, & Rahmawati. 2020. Karakteristik fisiologis jamur halofik berdasarkan faktor lingkungan dari sumur air asin di Desa Suak, Sintang, Kalimantan Barat. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 5(2): 227-232.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(1): 51-61.

- Inaya, N., D. Armita, & Hafsan. 2021. Identifikasi masalah nutrisi berbagai jenis tanaman di Desa Palajau Kabupaten Jeneponto. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*. 1(3): 94-102.
- Indirawati, S.M. 2017. Pencemaran logam berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di kawasan Pesisir Belawan. *Jurnal Jumantik*. 2(2): 54-60.
- Juhri, D.A. 2017. Pengaruh logam berat (kadmium, kromium, dan timbal) terhadap penurunan berat basah kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk) sebagai bahan penyuluhan bagi petani sayur. *Jurnal Lentera Pendidikan Pusat Penelitian LPPM UM Metro*. 2(2): 219-229.
- Kallang, G.K. 2019. Mikoremediasi logam berat besi (Fe) pada sedimen IPAL menggunakan *Aspergillus niger* dengan penambahan variasi *Bulking Agent*. *Skripsi*. Fakultas Teknobiologi. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Kapahi, M., & S. Sachdeva. 2019. Bioremediation options for heavy metal pollution. *Journal of Health and Pollution*. 9(24): 1-24.
- Kasegar, P., J.E.X. Rogi, & S. Tullung. 2017. Analisis tumbuh tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) di dataran medium dengan beberapa jarak tanam. *Cocos*. 1(8): 1-8.
- Khodja, H., A. Iddou, H. Aguedal, A. Aziz, & A. Shishkin. 2018. Bioremoval of lead (II) and cadmium (II) in single and multicomponent systems using *Penicillium* sp. In *Key Engineering Materials*. 762: 93-98.
- Martinus, S. 2022. Biosorpsi dan bioakumulasi timbal (Pb) oleh *Trametes cinnabarinus* hasil isolasi dari kawasan Taman Wisata Alam Gunung Marapi, Sumatera Barat. *Skripsi*. Fakultas Biologi. Universitas Nasional. Jakarta.
- Navi, S.S., R. Bandyopadhyay, A.J. Hall, & P.J. Bramel-cox. 1999. *A Pictorial Guide for the Identification of Mold Fungi on Sorghum Grain. Information Bulletin no.59 (In En. Summaries in En, Fr)*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru 502 324. Andhra Pradesh. India.
- Nongmaithem, N., A. Roy, & P.M. Bhattacharya. 2016. Screening of *Trichoderma* isolates for their potential of biosorption of nickel and cadmium. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47: 305-313.
- Nuban, A.A., A. Safitri, & U. Andayani. 2021. Biosorption of lead (Pb) from aqueous solution by immobilized *Aspergillus niger*: a green technology for heavy metals removal. *The Indonesian Green Technology Journal*. 10(1): 21-27.
- Nurhafidah, A. Rahmat, A. Karre, & H.H. Juraeje. 2021. Uji daya kecambah berbagai jenis varietas jagung (*Zea mays*) dengan menggunakan metode yang berbeda. *Jurnal Agroplantae*. 10(1): 30-39.
- Oladipo, O.G., O.O. Awotoye, A. Olayinka, O.T. Ezeokoli, M.S. Maboeta, & C.C. Bezuidenhout. 2016. Heavy metal tolerance potential of *Aspergillus* strains isolated from mining sites. *Bioremediation Journal*. 20(4): 287-297.
- Pramudita, T. 2019. Pengaruh variasi pengolahan daun dan buah kacang panjang terhadap kadar logam berat Pb dan Cd serta sosialisasi penanganan sayuran tercemar sebagai sumber belajar. *Jurnal Pendidikan Biologi*. 10(1): 45-54.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2003. *Pencemaran Bahan Agrokimia Perlu Diwaspadai*. Puslitbangtanak.
- Ristiari, N.P.N., K.S.M. Julyasih, & I.A.P. Suryanti. 2018. Isolasi dan identifikasi jamur mikroskopis pada rizosfer tanaman jeruk siam (*Citrus nobilis* Lour.) di Kecamatan Kintamani, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*. 6(1): 10-19.
- Rosariastuti, M.R., S. Supriyadi, & W. Widiastuti. 2020. Teknologi fitoremediasi untuk penanganan pencemaran logam berat di lahan pertanian di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*. 18(1): 25 - 36.
- Saputro, A.W., H. Rianto, & A. Suprapto. 2019. Hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum*, L.) var. *Granola* L. (G<sub>1</sub>) pada berbagai konsentrasi *Trichoderma* sp. dan media tanam. *VIGOR: Jurnal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*. 4(1):1-4.

- Setiawan, A., F. Basyiruddin, & D. Dermawan. 2019. Biosorpsi logam berat Cu (II) menggunakan limbah *Saccharomyces cereviseae*. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 16(1): 29-35.
- Susilowati, D.N., I. Sofiana, K.D. Atmini, & E. Yuniar. 2020. Penapisan kapang asal lahan sulfat masam kalimantan selatan sebagai penghasil enzim ekstraseluler. *Agric.* 32(1): 65-82.
- Tripathi, P., P.C. Singh, A. Mishra, P.S. Chauhan, S. Dwivedi, R.T. Bais, & R.D. Tripathi. 2013. *Trichoderma*: a potential bioremediator for environmental clean up. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 15(4): 541-550.
- Wanatabe, T. 2002. *A Pictorial Atlas of Soil and Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species-2nd ed.* CRC Press. London.
- Wijaya, N. 2018. Kemampuan isolat jamur asal Batang Toru Tapanuli selatan dalam menyerap timbal. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara.
- Wijayanti, T. & D.E.G. Lestari. 2017. Bioremediasi limbah tercemar kadmium (Cd) pada perairan di Kabupaten Pasuruan menggunakan bakteri indigen secara ex-situ. *Jurnal Pena Sains*. 4(2): 114-123.
- Yustinah, Y., H. Hudzaifah, M. Aprilia, & S. Ab. 2020. Kesetimbangan adsorpsi logam berat (Pb) dengan adsorben tanah diatomit secara batch. *Jurnal Konversi*. 9(1): 17-27.