

TUGAS AKHIR
POTENSI JAMUR *INDIGENOUS* TANAH TPA
PIYUNGAN SEBAGAI BIOREMEDIASI LOGAM
KADMIUM

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



KHODIJAH KARIMAH
19513222

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023

TUGAS AKHIR
POTENSI JAMUR *INDIGENOUS* TANAH TPA
PIYUNGAN SEBAGAI BIOREMEDIASI LOGAM
KADMIUM

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



KHODIJAH KARIMAH
19513222

Disetujui,

Dosen Pembimbing I



Annisa Nur Lathifah S.Si.,

M.Biotech. Ph.D

NIK. 155130505

Tanggal: **19.10.2023**

Dosen Pembimbing II



Dewi Wulandari, S.Hut.,

M.Agr., Ph.D

NIK. 185130401

Tanggal:

Mengetahui,*

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: **21/10-23**

HALAMAN PENGESAHAN

**POTENSI JAMUR *INDIGENOUS* TANAH TPA
PIYUNGAN SEBAGAI BIOREMEDIASI LOGAM
KADMIUM**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jum'at
Tanggal : 20 Oktober 2023

Disusun Oleh:

**KHODIJAH KARIMAH
19513222**

Tim Penguji :

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Khodijah Karimah

NIM: 19513222

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Maret 2022 ini yaitu **“Potensi Jamur Indigenous Tanah Tpa Piyungan Sebagai Bioremediasi Logam Kadmium”**. Laporan tugas akhir ini tidak akan maksimal tanpa adanya do'a, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Agus Riyanto dan Ibu Himatul Hasanah yang telah mendidik, mendo'akan, merawat, *men-support*, menjaga, dan membesarkan penulis dengan tulus dan kasih sayang hingga di titik ini.
2. Keluarga Penulis, Asma' Karimah, Ibrohim Al-karim, dan Zahra Karimah yang telah mendukung, kebersamai penulis, dan terus memberikan kisah serta *inside* positif dalam berbagai peristiwa.
3. Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., Ph.D., selaku dosen pembimbing I atas bimbingan, ilmu, serta perhatian yang diberikan selama kuliah dan menjalani penelitian.
4. Dewi Wulandari, S. Hut., M.Agr., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing, memberi masukan, serta meluangkan waktu dalam membagikan ilmu selama kuliah dan menjalani penelitian.
5. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran serta masukan dalam pembuatan laporan ini.
6. Para staff laboratorium khususnya Mba Rina Isnika, S.Si., yang banyak membantu selama menjalani penelitian di laboratorium.
7. Teman-teman Pink House; Sania, Sari, Nisa, Fetria, Eca, Ameng, dan Ayya yang telah kebersamai penulis dari awal tahun kuliah hingga saat ini.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan 2019 atas segala cerita yang telah dibagi selama kurang lebih 4 tahun ini, terutama Aning.
9. Semua pihak yang turut membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis menyadari terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Maka dari itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun masyarakat luas. Aamiin.

Yogyakarta, 23 Oktober 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Khodijah Karimah', written in a cursive style.

Khodijah Karimah

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Judul : Potensi Jamur Indigenous Tanah Tpa Piyungan Sebagai Bioremediasi Logam Kadmium
Mahasiswa (NIM) : Khodijah Karimah (19513222)
Pembimbing : Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

TPA Piyungan memiliki banyak kontaminan dikarenakan terakumulasinya berbagai zat organik maupun anorganik. Jamur indigenous tanah TPA memiliki kemampuan hidup dengan tekanan kontaminan yang tinggi. Logam kadmium dapat mencemari tanah dan air tanah dikarenakan pengolahan yang tidak tepat. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi jenis jamur yang terdapat pada TPA Piyungan serta potensi kemampuan jamur dalam meremediasi logam kadmium. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel dari tanah TPA Piyungan kemudian dilakukan isolasi dengan metode *serial dilution* dan *pour plate* untuk mendapatkan jamur asli/*indigenous* tanah TPA Piyungan dan dilanjutkan dengan pengujian menggunakan media modifikasi dengan penambahan logam kadmium dengan konsentrasi 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm dan larutan *bromothymol blue* (BTB). Terdapat 8 Isolat dengan tampak makroskopis berbeda dengan genus *Penicillium*., *Monilla*., dan *Curvularia*. Kedelapan isolat memiliki kemampuan untuk meremediasi logam kadmium dikarenakan terjadi pertumbuhan dan perubahan warna pada media modifikasi. Jamur yang memiliki kemampuan optimum dalam meremediasi kadmium untuk 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm secara berturut-turut adalah isolat 5, 6, dan 7.

Kata kunci: Jamur, Kadmium, Remediasi, TPA Piyungan

ABSTRACT

Title : The Potential of Indigenous Fungi from Piyungan Landfill
Soil for Bioremediation of Cadmium (Cd)
Students (number) : Khodijah Karimah (19513222)
Supervised by : Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

*Piyungan landfill has many contaminants due to the accumulation of various organic and inorganic substances. Landfill indigenous fungi have the ability to live with high contaminant pressure. Cadmium metal can contaminate soil and groundwater due to improper processing. This study was conducted to identify the types of fungi found in Piyungan Landfill and the potential ability of fungi to remediate cadmium metal. This research was conducted by taking samples from Piyungan landfill soil then isolated with serial dilution and pour plate methods to obtain native fungi / indigenous Piyungan landfill soil and continued with testing using modified media with the addition of cadmium metal with concentrations of 0.5 ppm, 5 ppm, and 10 ppm and bromothymol blue (BTB) solution. There are 8 isolates with different macroscopic views with genera *Penicillium*, *Monilla*, and *Curvularia*. The eight isolates have the ability to remediate cadmium metal due to growth and discoloration in the modified media. Fungi that have the optimum ability to remediate cadmium for 0.5 ppm, 5 ppm, and 10 ppm respectively are isolates 5, 6, and 7.*

Keywords: Cadmium, Fungi, Piyungan Landfill, Remediation

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 TPA Piyungan	5
2.2 Jamur <i>Indigenus</i>	5
2.3 Karakteristik Logam Kadmium.....	6
2.4 Bahaya Limbah Logam Kadmium	6
2.5 Penelitian Terdahulu.....	7
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Tahap Penelitian	14
3.4 Metode Pengumpulan Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	23
4.2 Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan.....	23
4.3 Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan.....	24
4.4 Kultur Isolat Jamur Pada Media Modifikasi dengan <i>Bromothymol Blue</i> (BTB) Untuk Menguji Kemampuan Tumbuh Jamur Pada Kondisi Ekstrim	25
4.5 Perbandingan Efektifitas 8 Isolat Dalam Meremediasi Kadmium	44
4.6 Identifikasi Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan	53

4.7 Alternatif Bioteknologi Jamur Sebagai Pendegradasi Logam Kadmium di Lapangan	69
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Simpulan.....	72
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	83
RIWAYAT HIDUP	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 0,5 ppm.....	46
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 0,5 ppm	46
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 5 ppm.....	49
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 5 ppm.....	49
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 10 ppm.....	52
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 10 ppm	52
Tabel 4. 7 Pengamatan isolat 1 secara makroskopis dan mikroskopis	55
Tabel 4. 8 Pengamatan isolat 2 secara makroskopis dan mikroskopis	57
Tabel 4. 9 Pengamatan isolat 3 secara makroskopis dan mikroskopis	59
Tabel 4. 10 Pengamatan isolat 4 secara makroskopis dan mikroskopis	61
Tabel 4. 11 Pengamatan isolat 5 secara makroskopis dan mikroskopis	63
Tabel 4. 12 Pengamatan isolat 6 secara makroskopis dan mikroskopis	65
Tabel 4. 13 Pengamatan isolat 7 secara makroskopis dan mikroskopis	67
Tabel 4. 14 Pengamatan isolat 8 secara makroskopis dan mikroskopis	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Denah Sampling di TPA Piyungan.....	14
Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian.....	15
Gambar 3. 3 Morfologi Jamur Tampak Atas.....	20
Gambar 3. 4 Tekstur Morfologi Koloni.....	21
Gambar 4. 1 Tampak atas (kode A) dan tampak bawah (kode B) ke-8 isolat jamur hasil pemurnian dari sampel tanah TPA Piyungan	24
Gambar 4. 2 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 1 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	27
Gambar 4. 3 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 2 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	29
Gambar 4. 4 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 3 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	31
Gambar 4. 5 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 4 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	33
Gambar 4. 6 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 5 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	35
Gambar 4. 7 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 6 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	37
Gambar 4. 8 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 7 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	39
Gambar 4. 9 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 8 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB	41
Gambar 4. 10 Distribusi berbagai spesies Cd(II) sebagai fungsi pH.....	44
Gambar 4. 11 Hasil bioremediasi kadmium 0,5 ppm oleh 8 isolat jamur	45
Gambar 4. 12 Hasil bioremediasi kadmium 5 ppm oleh 8 isolat jamur	48
Gambar 4. 13 Hasil bioremediasi kadmium 10 ppm oleh 8 isolat jamur	51
Gambar 4. 14 Penampakan isolat 1 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop	

400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Penicillium</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	54
Gambar 4. 15 Penampakan isolat 2 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Penicillium</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	56
Gambar 4. 16 Penampakan isolat 3 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Penicillium</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	58
Gambar 4. 17 Penampakan isolat 4 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, tanda panah menunjukkan tunas pada konidia, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Monilla</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	60
Gambar 4. 18 Penampakan isolat 5 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, tanda panah menunjukkan konidia, (D) Hifa, (E) <i>Curvularia</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	62
Gambar 4. 19 Penampakan isolat 6 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Penicillium</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	64
Gambar 4. 20 Penampakan isolat 7 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) <i>Penicillium</i> (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)	66

Gambar 4. 21 Penampakan isolat 8 secara makroskopis dan mikroskopis.
(A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020) 68

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jumlah isolat jamur beserta gambar pada tiap cawan setelah perlakuan pengenceran sampel.....	83
Lampiran 2. Perhitungan nilai <i>total plate counter</i> (TPC).....	86
Lampiran 3. Perhitungan kebutuhan kadmium untuk media uji remediasi	87
Lampiran 4. Kontrol media	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan efek dari berbagai aktivitas manusia. Setiap kegiatan manusia baik kegiatan domestik maupun nondomestik akan menimbulkan sampah dengan rata-rata 0,7 kg perorang perharinya, pengolahan sebaik mungkin diperlukan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan. Menurut Dirut Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), sampah di Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Sleman akan diproses akhir secara bersama dalam Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional yang berlokasi di Dusun Ngablak dan Watugender, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, dan akrab disebut TPA Piyungan (DLHK, 2022).

Menurut Budhijanto (2019), sampah di Indonesia memiliki keunikan tersendiri dibandingkan negara maju yaitu sampah yang terkumpul mengandung banyak bahan organik dan air yang tinggi. Proses pembusukan sampah yang memiliki fraksi organik tinggi akan menyebabkan timbulnya limbah cair yang disebut lindi. Lindi timbul akibat bahan organik pada sampah mengalami dekomposisi bersama air hujan lalu menghasilkan air lindi (Soemirat, 1999). Leachate (lindi) adalah cairan yang mengandung zat terlarut dan tersuspensi yang sangat halus sebagai hasil penguraian oleh mikroba (Soemirat, 1999). Oleh karena itu lindi mengandung berbagai senyawa organik maupun anorganik seperti ammonia dan logam berat yang dapat mencemari. Dalam kondisi yang kaya akan bahan organik dan penyesuain lingkungan, mikroba dapat tumbuh di tanah TPA. Asaku (2022) telah melakukan penelitian terhadap tanah TPA Piyungan dan mendapatkan 3 spesies jamur yaitu *Penicillium sp.*, *Rhizopus sp.*, *Mucor sp.*

Berbagai jenis logam berat dapat mencemari tanah TPA dikarenakan oksidasi pada proses pembusukan dan dekomposisi (Chalid, 2022). Muyassar (2021) mengatakan bahwa nilai kadmium (Cd) pada tanah sekitar TPA Piyungan sudah melebihi ambang batas normal. Konsentrasi Cd yang tinggi ini diduga berasal dari sampah logam seperti baterai, yang terdapat di TPA Piyungan. Chalid (2022) dalam

penelitiannya mendapatkan kandungan logam kadmium dalam tanah TPA Piyungan sebesar 4,21 mg/Kg. Kadmium juga dapat mencemari air, dalam penelitian yang dilakukan oleh Fadhila, terdapat kandungan kadmium sebesar 0,03 mg/L di sumur warga sekitar TPA Wukirsari dikarenakan air lindi yang merembes masuk ke dalam tanah mengikuti pola aliran air dan bercampur dengan air tanah (Fadhila, *et al.*, 2022). Keberadaan kadmium di atas batas ambang pada air tanah dapat mengakibatkan gangguan pada kulit, seperti kulit menjadi bersisik, kering, dan gatal (Putra, *et al.*, 2020). Keracunan kadmium menyebabkan gangguan tubuh yang akut dan kronis seperti kerusakan ginjal, emfisema, hipertensi, atrofi, kerusakan paru-paru dan hati serta bersifat karsinogenik (Mariadi, *et al.*, 2020).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi kandungan kadmium di lingkungan, salah satunya yaitu menggunakan bioremediasi. Bioremediasi merupakan teknologi remediasi yang memanfaatkan mikroorganisme. Santi berpendapat bahwa pemanfaatan potensi biologis seperti mikroba indigenus dapat menjadi solusi yang efektif untuk remediasi dengan kemampuan beradaptasi mikroba indigenus yang baik pada kondisi lahan tercemar (Santi, *et al.*, 2015). Menurut Kumar, beberapa jenis mikroorganisme yang dapat digunakan untuk bioremediasi logam adalah *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, dan *Aspergillus niger* (Kumar, *et al.*, 2014).

Ignatova (2021) melakukan penelitian terkait toleransi pertumbuhan 95 jenis jamur pada konsentrasi Cd 100 µg/ml dan menunjukkan bahwa *Penicillium* tumbuh secara dominan dengan *relative frequency* (RF) sebesar 32,6%, *Fusarium* dan *Rhodotorula* juga merupakan jamur yang dominan dengan RF sebesar 24,2% dan 21,6%. Dalam penelitiannya, Li (2023) menguji efek penambahan *Arbuscular mycorrhizal fungi* (AMF) pada tanaman gandum di bawah tekanan kandungan kadmium. Didapati di bawah perlakuan dosis CdCl₂ 10 mg/kg dan 20 mg/kg, AMF mengurangi kandungan Cd dalam daun sebesar 7% dan 46,3% dan kandungan Cd dalam biji berkurang 24,3% dan 36,5%. Liu (2022) juga telah melakukan penelitian terkait toleransi jamur terhadap kandungan Cd pada beberapa sampel tanah, setelah dilakukan penambahan dosis Cd pada tiap sampel tanah, didapati *Botryotrichum*, *Chaetomium*, *Corynascella*, *Cryptococcus*, dan *Holtermanniella* tumbuh dominan pada tanah basa dan *Sphingomonas*, *Haliangium*, dan *Ohtaekwangia* tumbuh

dominan pada tanah asam, dapat disimpulkan bahwa jamur-jamur tersebut toleran terhadap kandungan Cd.

Berbagai kegiatan seperti pelapisan dan pencampuran logam, industri minyak dan pigmen, pembuatan pestisida, dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan hasil samping dengan kandungan logam berat (Riyaz, *et al.*, 2020). kadmium merupakan *the big three heavy metal* yaitu merupakan logam paling berbahaya untuk kesehatan makhluk hidup (Rosihan, *et al.*, 2017). Jika pembuangan hasil sisa proses tersebut dilakukan secara terus-menerus tanpa pengolahan akan menyebabkan kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh terakumulasinya logam kadmium di lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk membantu dalam pemberian informasi mengenai proses penanganan limbah kadmium dengan memanfaatkan jamur *indigenous* di TPA Piyungan dengan mengidentifikasi jamur yang terdapat pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan dan potensinya sebagai bioremediasi logam Kadmium. Menyelaraskan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian identifikasi jamur pada tanah TPA dan sebagai bioremediasi logam kadmium pada masa mendatang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Jamur apa saja yang dominan terdapat pada sampel tanah TPA Piyungan?
2. Apa saja jenis jamur *indigenous* TPA Piyungan yang memiliki kemampuan meremediasi logam Kadmium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi jenis jamur yang terdapat pada TPA Piyungan.
2. Mengetahui potensi kemampuan jamur TPA Piyungan dalam meremediasi logam Kadmium.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan interpretasi, penjelasan, serta keterangan terkait jenis jamur pada tanah TPA Piyungan dan efisiensinya dalam remediasi logam Kadmium.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya guna terus meningkatkan pengetahuan ilmu yang dapat diterapkan untuk kesejahteraan masyarakat.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup penelitian adalah :

1. Lokasi pengambilan sampel bertempat di tanah bagian bawah tumpukkan sampah yang berumur 1- 3 tahun di TPA Piyungan.
2. Sampel tanah berasal dari 3 titik lokasi yang berbeda di TPA Piyungan yang kemudian dikompositkan.
3. Metode pengambilan sampel dan isolasi menggunakan metode Grab Sampling dan Pour Plate.
4. Penelitian uji remediasi oleh jamur dilakukan skala laboratorium.
5. Uji remediasi dilakukan dengan media *Malt Extract Agar* (MEA) yang dicampur larutan logam Kadmium.
6. Potensi remediasi ditandai dengan hidupnya jamur *indigenous* di media uji remediasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TPA Piyungan

TPA Piyungan berlokasi di Kabupaten Bantul, ± 16 km sebelah tenggara pusat Kota Yogyakarta, dengan luas lahan sebesar 12 Ha. TPA tersebut berlokasi di RT 04 Dukuh Bendo Ngablak dan RT 05 Dukuh Watu Gender, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode pengolahan sampah yang digunakan TPA Piyungan merupakan metode *Sanitary Landfil*, yaitu tumpukan sampah dilapisi dengan timbunan tanah, terdapat pula kolam pengolahan *leachate* (lindi) pipa pengendali gas buang, sistem drainase dan lapisan kedap air. TPA Piyungan melayani daerah perkotaan Yogyakarta yang meliputi Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman bagian selatan dan Kabupaten Bantul bagian utara yang masuk wilayah perkotaan (Kasam, 2011).

Menurut Ariyani, drainase TPA Piyungan dalam kondisi kurang terawat karena tertutupi oleh tanaman liar. Selain itu, hal ini memungkinkan bercampurnya air lindi dengan air hujan. Saluran pengumpul lindi, saluran pelindung tanggul, instalasi pengolahan lindi, sumur uji, bangunan komposter, tanah penutup, dan *excavator* termasuk kriteria cukup untuk ketersediaan dan layak untuk kondisi (Ariyani, 2018).

2.2 Jamur *Indigenus*

Santi dkk. mengutarakan bahwa jamur *indigenus* merupakan jamur pribumi/alami yang berasal dan tumbuh pada suatu lingkungan. Jamur *indigenus* dapat dijadikan biogen remediasi efektif dalam proses remediasi tanah dengan kandungan logam berat yang tinggi sehingga dapat beradaptasi dengan baik di kondisi lahan tercemar (Mariadi, *et al.*, 2020).

Jika dibandingkan dengan *nonindigenus*, jamur *indigenus* lebih tinggi efektifitasnya dalam mereduksi logam berat karena jika jamur *indigenus* yang digunakan berasal dari daerah tanah dengan konsentrasi logam berat yang tinggi, maka jamur tersebut sudah beradaptasi dengan kondisi yang sama dengan tanah yang akan di restorasi (Hernahadini, 2021). Peranan jamur dalam tanah selain

mendegradasi logam berat juga dapat menjaga ketersediaan unsur karbon dalam tanah yang digunakan untuk sumber makanan bagi jamur ataupun organisme lain dalam tanah (Darliana, I. dan Wilujeng, S., 2020).

2.3 Karakteristik Logam Kadmium

Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik sebagai bahan stabilisasi dan bahan pewarna dalam industri plastik juga pada *electroplating* (Darmono, 1995). Logam kadmium dan persenyawaan kadmium nitrat ini berfungsi sebagai bahan untuk mengontrol kecepatan pemecahan inti atom dalam rantai reaksi (reaksi berantai) (Palar, 2004). Logam kadmium (Cd) biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng (Darmono, 1995). Cd dapat bersama-sama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, peptisida, dan lain-lain. Logam kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam (Said, 2008).

Berdasarkan sifat-sifat fisiknya, kadmium (Cd) merupakan logam yang lunak ductile, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembap serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2). Berdasarkan pada sifat kimianya, logam berat kadmium (Cd) di dalam persenyawaannya, dibentuk umumnya mempunyai bilangan valensi $2+$, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi $1+$. Bila dimasukkan kedalam larutan yang mengandung ion OH, ion-ion Cd^{+2} akan mengalami proses pengendapan. Endapan yang terbentuk dari ion-ion Cd^{+2} dalam larutan OH biasanya dalam bentuk senyawa terhidrasi yang berwarna putih (Palar, 2004).

2.4 Bahaya Limbah Logam Kadmium

Kadmium merupakan produk sampingan dari produksi zink dan bisa terpapar ke manusia atau hewan di tempat kerja maupun lingkungan. Setelah kadmium terserap oleh tubuh manusia, logam ini akan terakumulasi di dalam tubuh sepanjang

hidup. Manusia bisa terpapar logam ini utamanya melalui inhalasi dan mulut sehingga dapat menyebabkan keracunan akut maupun kronis (Irianti, *et al.*, 2021).

Berdasarkan peringkat ATSDR Logam Cd termasuk logam nonesensial yang memiliki bahaya bagi tubuh. Logam Cd merupakan logam berat tertoksik nomor 7. Kadmium akan lebih mudah diserap oleh tanaman dibandingkan logam berat lainnya. Logam berat kadmium merupakan *the big three heavy metal* yaitu logam paling berbahaya untuk kesehatan makhluk hidup. Menurut WHO, kandungan logam berat maksimal bagi manusia per minggu adalah sekitar 7 mg/kg berat badan atau 400-500 gram per orang untuk satu minggu. Konsumsi tembakau dan makanan merupakan salah satu penyebab munculnya kandungan logam berat pada tubuh manusia, dan sebagian kecil berasal dari polusi udara dan air minum. Kadmium memiliki dampak yang berbeda pada anak-anak dan orang dewasa. Bagi anak-anak, Kadmium dapat membantu perkembangan otak. Namun, pada orang dewasa kadmium dapat menaikkan resiko terjadinya penyakit paru paru, jantung, kanker payudara, kegagalan fungsi ginjal, encok, pembentukan artritis dan kerusakan tulang (Rosihan, *et al.*, 2017).

Menurut Ministry of State for Population and Enviromental of Indonesia, and Dalhousie, University Canada (1992), ambang batas maksimum keberadaan logam Cd adalah 0.5 ppm di dalam tanah.

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis mengacu pada referensi penelitian sebelumnya. Hasil referensi penelitian sebelumnya tertulis pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
1	Ignatova, L., et al.	2021	Characterization of cadmium-tolerant endophytic fungi isolated from soybean (<i>Glycine max</i>) and barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	Menentukan toleransi Cd dan minimum inhibitory concentration (MIC) pada strain. Menyelidiki kemampuan remediasi Cd dan bioakumulasi strain jamur.	Metode isolasi dilakukan menggunakan Teknik pelapisan fragmen tradisional dengan media Potato Dextrose Agar (PDA) dan penambahan 100 µg/ml untuk pengujian bioakumulasi.	Penicillium tumbuh secara dominan dengan relative frequency (RF) sebesar 32,6%, Fusarium dan Rhodotorula juga merupakan jamur yang dominan dengan RF sebesar 24,2% dan 21,6%. Beauveria bassiana mampu meremediasi sebesar 58,7%.

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
2	Li, H., et al.	2023	Physiological and proteomic analyses reveal the important role of arbuscular mycorrhizal fungi on enhancing photosynthesis in wheat under cadmium stress	Mengeksplorasi peran pengaturan dan mekanisme AMF dalam proses fotosintesis tanaman gandum di bawah tekanan kandungan Kadmium melalui karakteristik fisiobiokimia dan analisis proteomik untuk mempromosikan penerapan AMF dalam pertanian berkelanjutan.	Metode isolasi yang digunakan yaitu metode penanaman pot dengan perbandingan nutrisi dan tanah 1:1 dan menginokulasi 120 g <i>Arbuscular mycorrhizal fungal inoculum (Glomus mosseae)</i> . Penambahan 0, 10, dan 20 mg/kg CdCl ₂ pada hari ke 8.	Hasilnya menunjukkan bahwa <i>Arbuscular mycorrhizal fungal inoculum (AMF)</i> mengurangi kandungan Cd dalam daun sebesar 7% dan 46,3% dan kandungan Cd dalam biji berkurang 24,3% dan 36,5% pada dosis Cd 10 dan 20 mg/kg.

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
3	Liu, H., et al.	2022	Dynamics of fungal and bacterial communities in different types of soil ageing with different dosages of cadmium	Memberikan referensi teoritis untuk bioremediasi Cd.	Metode isolasi yang digunakan merupakan metode penanaman dengan media tanah yang ditambahkan 3 level dosis Cd dengan konsentrasi 0 (kontrol), 1, 5, dan 10 mg/kg pada tiap sampel tanah.	Setelah dilakukan penambahan dosis Cd pada tiap sampel tanah didapati <i>Botryotrichum</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Corynascella</i> , <i>Cryptococcus</i> , dan <i>Holtermanniella</i> tumbuh dominan pada tanah basa dan <i>Sphingomonas</i> , <i>Haliangium</i> , dan <i>Ohtaekwangia</i> tumbuh dominan pada tanah asam, dapat disimpulkan bahwa jamur tersebut toleran terhadap kandungan Cd.

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
4	Male, Y. T., et al.	2020	Bioremediation Of Pb and Cd Metal From Inner Ambon Bay Sediment Which Contaminated With Heavy Metal Using <i>Aspergillus niger</i>	Meneliti pemisahan logam berat dari tanah terkontaminasi dengan bioremediasi menggunakan <i>Aspergillus niger</i> .	Menggunakan media tumbuh <i>potato dextrose broth</i> (PDB) dan pemberian sampel sedimen 2g. Uji kandungan logam dilakukan dengan <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS) .	Jamur <i>Aspergillus niger</i> dapat menghilangkan kandungan logam Cd dengan persentase 99,5%.

Dari penelitian terdahulu belum ditemukan penelitian pemanfaatan jamur *indigenous* tanah TPA Piyungan sebagai bioremediatory logam kadmium. Oleh karena itu pada penelitian ini, akan dibahas mengenai pemanfaatan jamur *indigenous* tanah TPA untuk meremediasi logam kadmium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

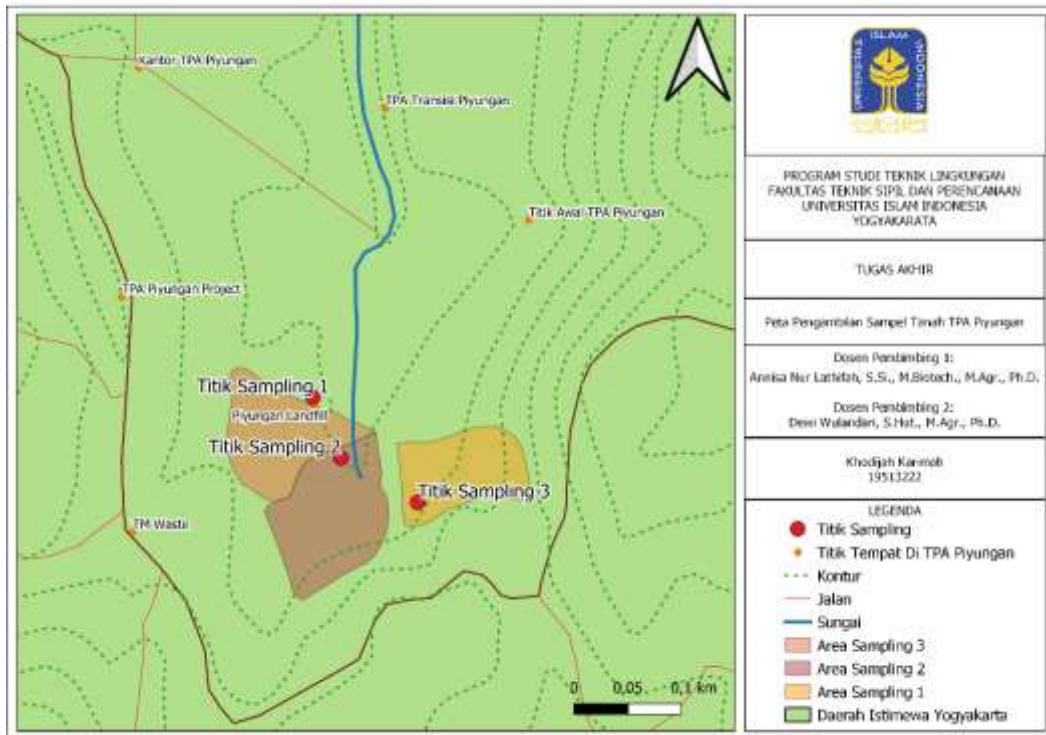
Penelitian dilakukan selama 3 bulan, terhitung dari bulan Desember 2022 sampai dengan bulan Mei 2023 di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. TPA Piyungan menjadi tempat pengambilan sampel tanah untuk identifikasi jamur *indigenous*. TPA Piyungan di-*design* untuk mengolah sampah akhir dengan metode *sanitary landfill*. Namun, pada prakteknya TPA Piyungan menggunakan metode *control landfill* untuk pengolahan akhir sampah. Sampel diambil sebanyak 3 titik dan setiap titik diambil kembali 3 titik dengan jarak 1 meter dan kedalaman 40 cm dengan waktu pelaksanaan pada tanggal 20 Maret 2023. Berikut merupakan titik koordinat serta peta pengambilan sampel tanah:

Titik *sampling* 1 : 7°52'11.3"S 110°25'46.7"E

Titik *sampling* 2 : 7°52'12.8"S 110°25'48.4"E

Titik *sampling* 3 : 7°52'13.9"S 110°25'50.3"E

Titik *sampling* 1 berada pada lokasi lereng. Tanah pada titik ini telah ditumbuhi rumput dan memiliki kondisi yang cukup keras ketika dibor. Tanah pada titik *sampling* 1 diambil pada cuaca sedikit mendung. Titik *sampling* 2 berada pada lokasi lereng. Tanah pada titik ini tidak ditumbuhi rumput dan memiliki kondisi yang cukup lunak ketika dibor. Lokasi pengambilan sampel tanah berdekatan dengan rembesan lindi dan terdapat potongan sampah pada permukaan tanah. Tanah pada titik *sampling* 2 diambil pada kondisi setelah hujan. Titik *sampling* 3 berada pada lokasi datar. Tanah pada titik ini tidak ditumbuhi rumput dan memiliki kondisi tanah dengan kerapatan sedang. Tanah pada titik *sampling* 3 diambil pada kondisi setelah hujan.



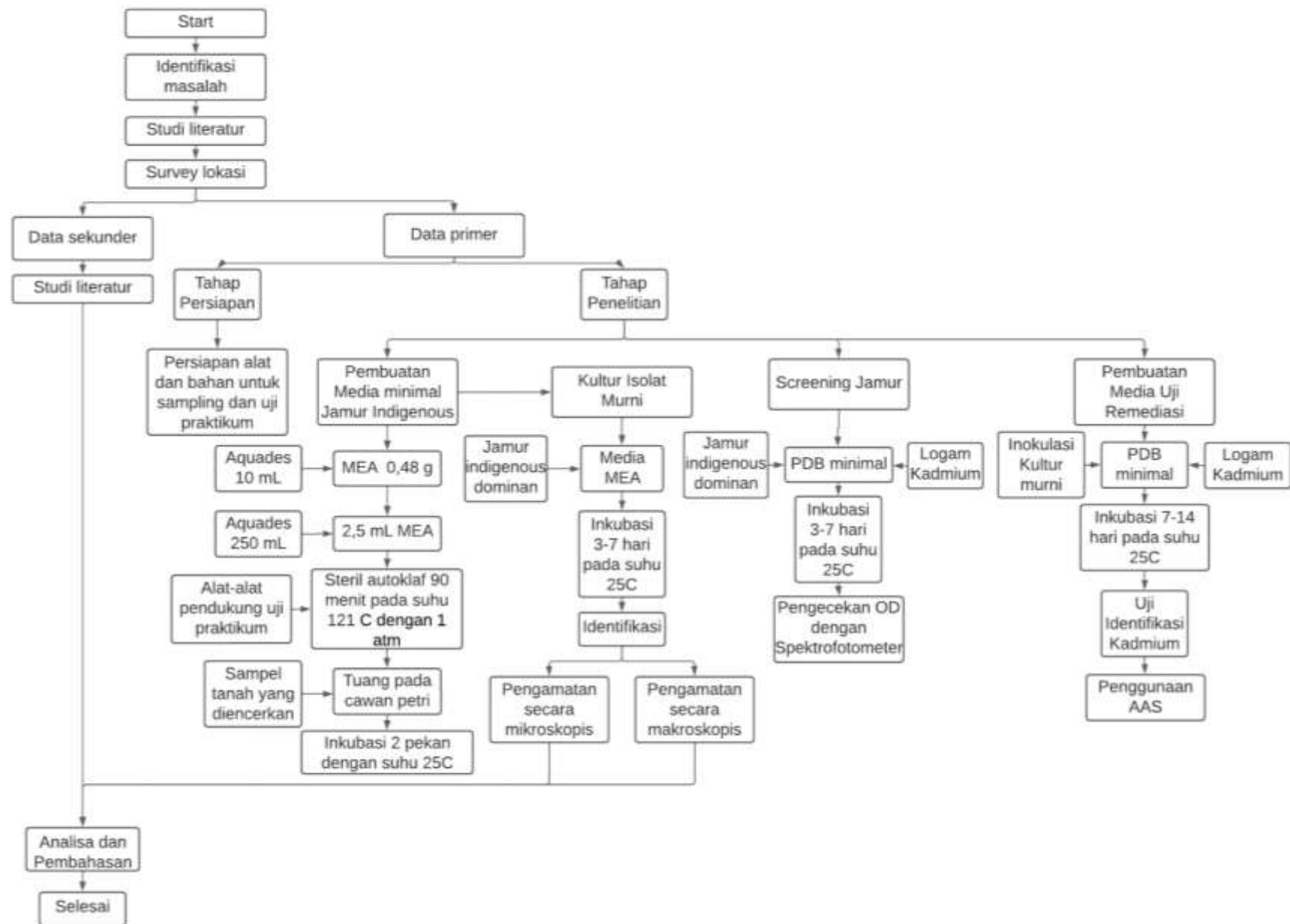
Gambar 3. 1 Denah Sampling di TPA Piyungan

3.2 Alat dan Bahan

Terdapat berbagai alat dan bahan yang digunakan dalam mendukung berjalannya penelitian. Alat yang digunakan dalam penelitian diantaranya sekop, plastik klip, penggaris 30 cm, kertas label, GPS, sarung tangan, masker, alkohol, kapas pembalut, erlenmeyer, *magnetic stirrer*, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet ukur, mikropipet, karet penghisap (*bulb*), gelas ukur, pembakar bunsen, jarum ose, *preparate*, *cover glass*, *scalpel*, gelas beaker, mikroskop, autoklaf, neraca analitik, spektrofotometer, *atomic absorption spectrometry* (AAS), *laminar air flow* (LAF), inkubator, dan *shaker*. Bahan yang digunakan adalah akuades, *malt extract agar* (MEA), bubuk *cadmium nitrate tetrahydrate* ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), *agar bacteriological*, *lactophenol cotton blue* (LPCB), *bromothymol blue* (BTB), KOH, HCl, dan sampel tanah.

3.3 Tahap Penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian:



Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian

3.4 Metode Pengumpulan Data

3.4.1 Penentuan Titik Sampling

Pada pengambilan sampel tanah di TPA Piyungan Yogyakarta, titik sampling ditentukan dengan memilih area yang telah menjadi tempat peletakkan sampah dalam jangka waktu 1-3 tahun, diambilnya tempat tersebut diharapkan bahwa tanah di area tersebut telah ditumbuhi jamur *indigenus* dan dapat mewakili area TPA Piyungan secara menyeluruh, pengambilan jamur *indigenus* dalam jangka waktu tersebut telah dilakukan oleh Asaku (2022). Sampel diambil pada 3 titik yang pada tiap titik kemudian diambil 3 sampel dengan jarak 1 meter, maka sampel yang dikumpulkan berjumlah 9 titik. Metode pengambilan data secara grab sampling dengan metode komposit telah dilakukan oleh Ekamaida (2017). Sampel diambil pada kedalaman 40 cm. Diambilnya tanah pada kedalaman 40 cm, dikarenakan lokasi tempat pengambilan sampel ditutup oleh tanah urug sedalam 15 cm dan didasarkan oleh penelitian Arifin (2018), top soil berada pada kedalaman 0-30 cm. Menurut Buckman dan Brady (1982) lapisan atas profil tanah umumnya cukup banyak mengandung bahan organik dan biasanya berwarna gelap karena penimbunan (akumulasi) bahan organik tersebut. Lapisan dengan ciri-ciri demikian sudah umum dianggap sebagai daerah (zone) utama penimbunan bahan organik dan disebut tanah atas (topsoil) dan tanah olah. Hal tersebut menjadikan tanah top soil sebagai tanah yang cocok untuk penyerapan nutrisi oleh akar. Rhizosfer merupakan habitat yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroba oleh karena akar tanaman menyediakan berbagai bahan organik yang umumnya menstimulir pertumbuhan mikroba (Wijyantie, 2009).

3.4.2 Pengambilan Sampel

Sampel tanah diambil pada lahan yang tertimbun sampah selama 1-3 tahun dan telah diratakan. Sampel diambil pada 3 titik yang dimana tiap titik utama akan bercabang menjadi 3 titik dengan jarak 1 meter. Tahap pertama pengambilan sampel adalah membersihkan lahan dari serasah, kemudian sterilisasi sekop menggunakan alkohol. Dilanjutkan dengan menggali tanah

sedalam 15 cm dan kemudian tanah diambil dan dimasukkan ke dalam plastik klip yang telah diberi label. Sampel disimpan dalam cooler box, penggunaan cooler box dilakukan untuk meminimalkan gangguan terhadap jumlah mikroorganisme di dalam sample, kemudian dibawa ke laboratorium. Tahap komposit dari 3 titik cabang pada tiap titik utama dilakukan di laboratorium saat pengenceran sampel akan dilakukan. Metode pengambilan sampel ini telah dilakukan oleh Ekamaida (2017).

3.4.3 Inokulasi Jamur

3.4.3.1 Pengenceran dan Inokulasi Sampel

Isolasi awal dilakukan dengan mengambil sampel tanah dengan pengenceran 10^{-5} hingga 10^{-8} sebanyak 1 mL, kemudian dimasukkan ke cawan petri dengan metode pour plate menggunakan media MEA minimal. Isolasi dilakukan selama 2 pekan untuk mengidentifikasi jenis jamur yang ada pada tanah TPA Piyungan.

Sampel tanah yang didapat dikompositkan dalam 3 titik utama. Sampel diencerkan dengan tahapan homogenkan sampel tanah 5 gram dan aquades 45 mL di dalam Erlenmeyer 50 mL. Larutan tersebut diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah terisi aquades 9 mL, dihomogenkan untuk menjadi larutan 10^{-1} . 1 mL larutan 10^{-1} diambil dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah terisi aquades 9 mL, kemudian dihomogenkan dan menjadi larutan 10^{-2} . Perlakuan pengenceran ini terus dilakukan hingga mendapat pengenceran 10^{-8} (Martius, 2018).

Media yang digunakan pada tahap ini adalah media *Dilute Malt Extract Agar* (DMEA) atau media minim nutrisi. Menurut Nurbaya, MEA merupakan media sintetik yang kaya akan nutrisi (Nurbaya, *et al.*, 2014). Thom dan Church (1926) merekomendasikan MEA dalam pertumbuhan kapang dan khamir/ragi karena mengandung karbon, protein, dan sumber nutrisi lainnya (Rheisa, 2021). Media minim nutrisi digunakan agar pertumbuhan berbagai jamur *indigenous* terjadi secara merata dan diharapkan jamur yang memiliki masa tumbuh cepat tidak mendominasi di media isolat. Pembuatan DMEA konsentrasi 1/100 dibuat dengan

melarutkan 0,48 g MEA dengan akuades sampai tanda batas 10 ml. Kemudian diambil 2,5 ml larutan MEA dan ditambahkan akuades hingga tanda batas 250 ml. Kemudian kedua larutan dipanaskan dengan hotplate sampai larut. Selanjutnya Larutan-larutan disterilisasi dengan autoklaf dengan suhu 121°C selama 1 jam 30 menit dengan tekanan 1 atm (Sumi, *et al.*, 2020).

3.4.3.2 Pemurnian Stok Kultur Jamur

Media Isolasi stok kultur dilakukan dengan mengambil kultur jamur yang memiliki penampakan makroskopis yang berbeda pada isolasi awal untuk mendapatkan stok jamur yang lebih banyak, isolasi ini dilakukan dengan MEA. Masa inkubasi jamur sampai terdapat pertumbuhan koloni berkisar 3-5 hari bahkan lebih, tergantung dengan jenisnya (Suryani, *et al.*, 2020). Pembuatan media MEA dilakukan dengan menghomogenkan 7,2 g MEA dengan 150 mL aquades.

3.4.3.3 Uji Remediasi Dengan Media Modifikasi Minim Nutrisi Disertai Penambahan Logam Kadmium dan *Bromothymol Blue* (BTB)

Uji remediasi dilakukan menggunakan media minim nutrisi yang kemudian ditambah dengan konsentrasi logam dan Bromothymol Blue (BTB). Modifikasi ini dilakukan untuk menganalisis 2 kemungkinan, apakah isolat jamur dapat memanfaatkan logam sebagai sumber metabolisme pengganti nutrien yang tersedia atau isolat tidak dapat tumbuh lebih banyak dikarenakan tekanan dari logam. Penambahan BTB dimaksudkan untuk mempermudah proses identifikasi degradasi logam kadmium dan menunjukkan aktifitas enzim pada media.

Pembuatan media minim nutrisi dilakukan dengan cara yang sama dengan pembuatan media inokulasi tahap awal. Media yang digunakan adalah MEA dengan *dilute* 1/10 kemudian ditambahkan *bromothymol blue* (BTB), *bactoagar* 2% dan kadmium. Junior (2020) telah melakukan penelitian dengan menambahkan BTB 0,5% yang telah dilarutkan dalam KOH 0,2 N sebanyak 2 mL untuk 1 L media. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi yaitu dengan menambahkan 0,54 mL dari 0,5% BTB yang telah dilarutkan pada 0,2 N KOH untuk 120 mL media. Penambahan larutan BTB

dan KOH dalam larutan akan menaikkan pH media. Oleh karena itu dilakukan penambahan HCl 2,9 mL di tiap media untuk menurunkan pH menjadi asam.

Menurut Akbar (2020) pada penelitiannya menyimpulkan bahwa TPA Gunung Tugel Banyumas memiliki kandungan Cd sebesar 7.35 mg/kg. Dalam penelitian Chalid (2022), kandungan logam kadmium dalam tanah TPA Piyungan sebesar 4,21 mg/Kg. Penentuan rentang konsentrasi logam yang digunakan dipertimbangkan dengan melihat cemaran kadmium pada tanah TPA, ambang batas kadmium di air dan tanah (tertera pada poin 2.4), dan dilanjutkan dengan melihat penggunaan konsentrasi kadmium pada penelitian terdahulu. Annisa (2022) telah melakukan penelitian dengan konsentrasi kadmium sebesar 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm. Purnwati (2015) dalam penelitiannya menggunakan konsentrasi kadmium sebesar 1 ppm, 3 ppm, dan 5 ppm. Cemaran kadmium pada tanah TPA mencapai 7,35 mg/kg untuk TPA Gunung Tugel Banyumas (Akbar, 2020) dan Chalid (2022) dalam penelitiannya mendapatkan kandungan logam kadmium dalam tanah TPA Piyungan sebesar 4,21 mg/Kg, serta ambang batas kadmium untuk tanah (digunakan ambang batas negara tropis lain, Amerika Selatan, Equador, dikarenakan Indonesia belum memiliki ambang batas kadmium dalam tanah) sebesar 0,5 mg/kg (Criterios De Calidad Del Suelo). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan logam kadmium dengan rentang 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm.

Untuk mempermudah mendapatkan larutan kadmium 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm dibuat larutan induk kadmium dengan konsentrasi 100 ppm. Pembuatan larutan kadmium konsentrasi 100 ppm dilakukan dengan melarutkan 27,44 g bubuk $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ dengan akuades hingga 100 ml. Penggunaan larutan cadmium dapat disesuaikan dengan konsentrasi yang dibutuhkan menggunakan rumus pengenceran (Muzeka, *et al.* 2019):

$$M1 \cdot V1 = M2 \cdot V2$$

Dimana :

M1 : Konsentrasi larutan yang diencerkan

M2 : Konsentrasi larutan pengenceran

V1 : Volume larutan standar yang diencerkan

V2 : Volume larutan pengenceran

Dari proses di atas, didapat 3 jenis media. Media pertama memiliki konsentrasi logam Cd 0,5 ppm dengan pH 5,59, media kedua memiliki konsentrasi 5 ppm dengan pH 5,47, dan media ketiga memiliki konsentrasi 10 ppm dengan pH 5,5. Penggunaan pH asam pada media inokulasi dilakukan menurut Madigan (2008), jamur tumbuh dengan sangat baik pada pH 5 atau bahkan lebih rendah.

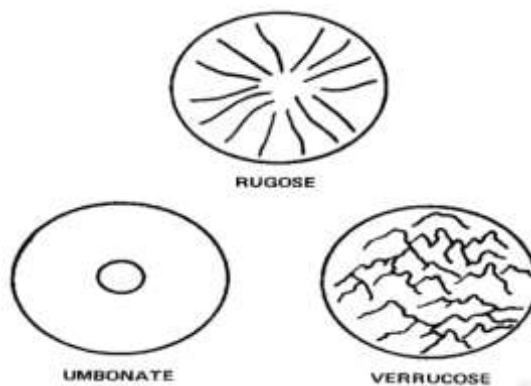
3.4.4 Sterilisasi Alat Uji dan Media

Alat dan bahan yang akan digunakan disterilisasi terlebih dahulu menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15-20 menit. Prinsip yang digunakan adalah uap air panas bertekanan (Sumi, *et al.*, 2020). Alat yang akan dimasukkan ke dalam autoklaf dibungkus dengan kertas coklat untuk menghindari uap air masuk ke dalam alat.

3.4.5 Identifikasi Jamur

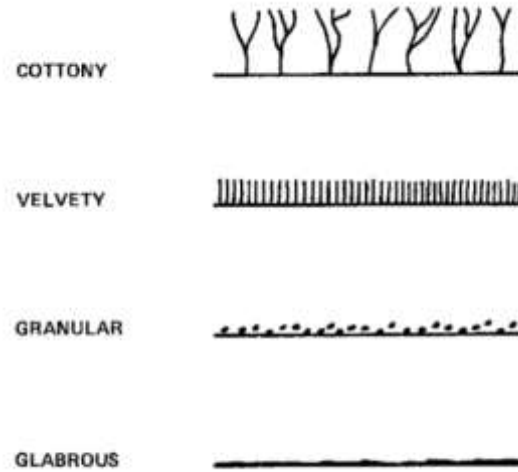
Identifikasi jamur dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode makroskopis dan mikroskopis. Identifikasi dilakukan mengacu pada buku *Mikologi* yang ditulis oleh Suryani (2020).

- a. Metode makroskopis dilakukan dengan mengamati pertumbuhan koloni jamur pada media pertumbuhan. Sifat-sifat koloni seperti bentuk susunan, warna, dan ukuran koloni (Suryani, *et al.*, 2020). Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 merupakan morfologi koloni dari jamur (Chourasia, 2008).



Gambar 3. 3 Morfologi Jamur Tampak Atas

Sumber: (Chourasia, 2008)



Gambar 3. 4 Tekstur Morfologi Koloni

Sumber: (Chourasia, 2008)

- b. Metode mikroskopis dilakukan dengan menggunakan metode slide culture dan pengecetan jamur menggunakan Lactophenol Cotton Blue (LPCB). Metode slide culture memiliki beberapa keunggulan yakni pemeriksaan dan identifikasi lebih cepat, tidak perlu membuang agar yang berasal dari cawan kultur, dan sedikit kemungkinan terjadinya kerusakan pada bantalan spora. Metode ini menggunakan alat kaca preparat, penahan kaca preparat, cover glass dan kapas. Media yang telah dipotong diletakkan pada kaca preparat kemudian jamur diambil menggunakan jarum dan digoreskan pada sekeliling media. Media ditutup kembali dengan cover glass kemudian diletakkan dalam cawan petri yang telah diberi kapas dan penahan kaca preparat. Akuades steril kemudian dituang pada kapas agar memberi kelembapan pada jamur. Cawan petri ditutup dan dilapisi kertas kemudian diinkubasi 3 – 5 hari (Valencia, *et al.*, 2017). Lactophenol Cotton blue berfungsi memberi warna pada jamur, gliserol berfungsi menjaga fisiologi sel dan menjaga sel terhadap kekeringan, asam laktat mempertahankan struktur jamur

dan membersihkan jaringan sementara fenol berfungsi sebagai desinfektan (Himedia, 2015). Jamur kemudian diamati struktur hifa, spora, tubuh buah, dan lainnya

3.4.6 Perhitungan Jumlah Koloni Jamur

Perhitungan jumlah jamur dilakukan menggunakan *colony counter* untuk mempermudah proses perhitungan. Hafsan (2014) dalam buku *Mikrobiologi Analitik* menjelaskan bahwa *colony counter* dilengkapi dengan skala/kuadran dan latar belakang cahaya yang sangat berguna untuk pengamatan pertumbuhan koloni yang banyak. Jumlah koloni yang terdapat pada cawan petri juga dapat ditandai, dihitung otomatis, dan dapat di-*reset*. Kemudian koloni yang telah didapat dihitung menggunakan metode *total plate counter* dengan rumus yang digunakan Madigan (2012) dalam bukunya *Brock Biology of Microorganisms* dengan syarat perhitungan TPC koloni jamur yaitu memiliki rentang 30-300 koloni, koloni spreader tidak digunakan., perbandingan hasil pengenceran yang berurutan jika ≤ 2 , maka hasilnya direrata, namun jika > 2 , maka dipakai pengenceran yang lebih kecil, jika ada ulangan, maka jumlah koloni direrata. Perhitungan jumlah koloni dilakukan pada pengenceran terkecil.

$$N = \text{Jumlah Koloni} \times \text{Pengenceran}$$

dengan:

N : Nilai TPC

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di TPA Piyungan dengan titik koordinat sesuai dengan isi poin 3.1 dan tergambar pada gambar Gambar 3.1 Denah Sampling di TPA Piyungan. TPA Piyungan merupakan TPA yang di-*design* berbentuk *sanitary landfill*, namun pada prakteknya TPA Piyungan menggunakan konsep *control landfill*. Titik pengambilan sampel dilakukan di area *control landfill*. Hal tersebut dikarenakan area ini merupakan lokasi terjadinya penimbunan sampah dan lokasi dimana terjadi pengakumulasian berbagai jenis kandungan organik maupun anorganik. Pada titik sampel 1, tanah TPA sudah ditumbuhi rerumputan dan dikabarkan oleh penjaga TPA, daerah tersebut merupakan daerah timbunan sampah yang diperkirakan berumur 1-3 tahun. Sampel 2 dan 3 diambil di lokasi berbeda dengan umur timbunan sampah sekitar 1 tahunan dan tanah yang digunakan untuk menimbun sampah merupakan tanah di luar daerah TPA Piyungan. Pada pengambilan sampel 2 dan 3, tanah sampel yang diambil berdekatan dengan air lindi yang merembes keluar dan diperkirakan tanah yang terambil telah tercampur lindi.

4.2 Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan

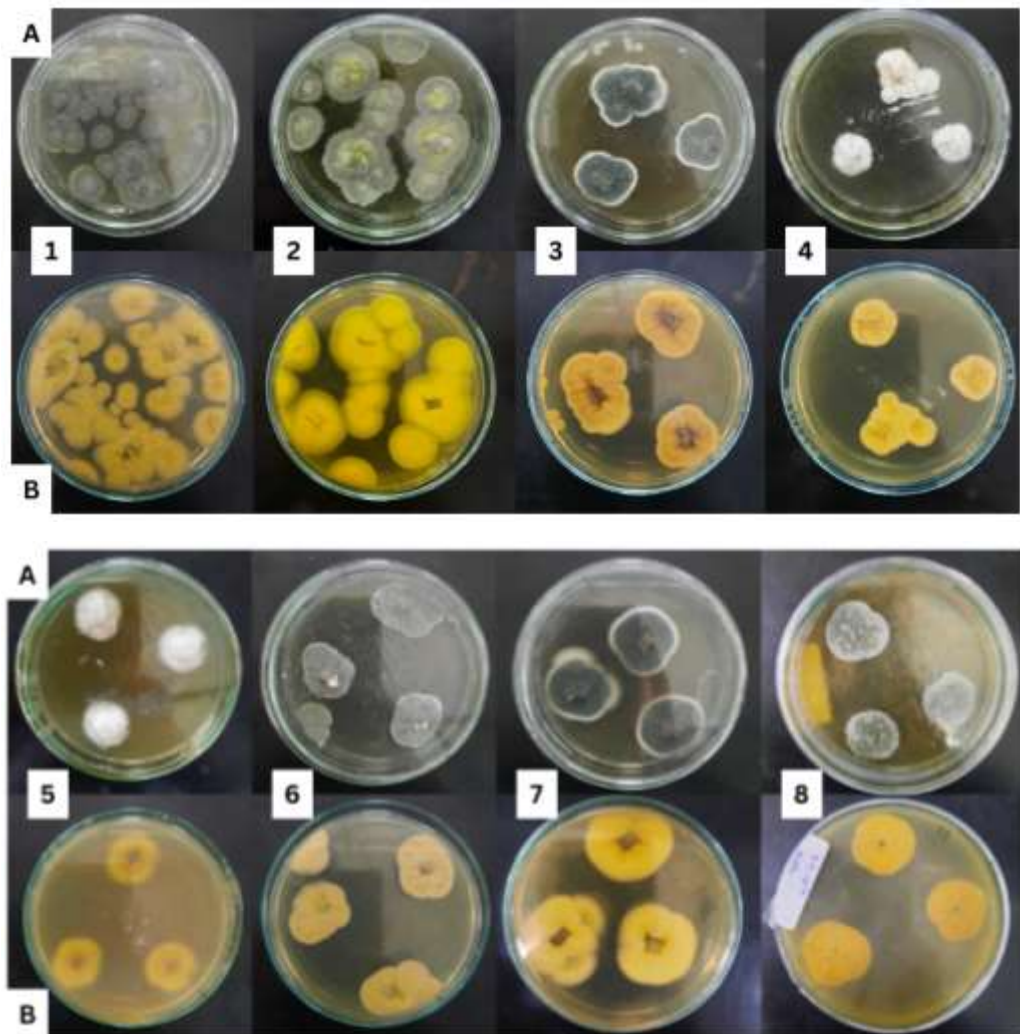
Jamur *indigenous* dapat bertahan hidup dalam kondisi tercemar limbah seperti di TPA. Limbah TPA memiliki kandungan organik dan anorganik yang sulit terdegradasi karena memiliki bentuk dan struktur polimer yang komposit dan kompleks (Wardani, 2021). Jamur memiliki kemampuan mendegradasi senyawa organik dan menjadikannya sumber nutrisi untuk metabolisme (Darliana dan Wilujeng, 2020). Isolasi jamur tanah TPA dilakukan dengan pengenceran 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} pada media *dilute* MEA, membutuhkan waktu inkubasi kurang lebih 14 hari menggunakan incubator dengan suhu 27°C dan dilakukan secara duplo.

Menurut Madigan (2012) dalam bukunya *Brock Biology of Microorganisms* koloni jamur memiliki rentang 30-300 koloni. Dengan persyaratan pertama, koloni spreader tidak digunakan. Kedua, perbandingan hasil pengenceran yang berurutan

jika ≤ 2 , maka hasilnya direrata, namun jika > 2 , maka dipakai pengenceran yang lebih kecil. Ketiga, jika ada ulangan, maka jumlah koloni direrata. Perhitungan jumlah koloni dilakukan pada pengenceran terkecil. Hasil nilai TPC yang didapat untuk sampel titik 1,2, dan 3 berturut-turut adalah $121,5 \times 10^8$ CFU/gram, 139×10^8 CFU/gram, dan 43×10^8 CFU/gram.

4.3 Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan

Didapatkan 8 isolat jamur dengan penampakan makroskopis berbeda dari isolasi jamur tanah TPA. Kemudian dilakukan pemurnian kepada 8 jamur tersebut, 8 isolat jamur tersebut diberikan kode 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 . Berikut merupakan gambar ke-8 isolat jamur:



Gambar 4. 1 Tampak atas (kode A) dan tampak bawah (kode B) ke-8 isolat jamur hasil pemurnian dari sampel tanah TPA Piyungan

4.4 Kultur Isolat Jamur Pada Media Modifikasi dengan *Bromothymol Blue* (BTB) Untuk Menguji Kemampuan Tumbuh Jamur Pada Kondisi Ekstrim

Kultur Isolat jamur dilakukan pada media dengan minim nutrient atau *dilute* MEA dan penambahan konsentrasi logam untuk melihat pertumbuhan jamur di bawah tekanan logam, dan penambahan BTB untuk melihat aktivitas enzim yang ditandai dengan perubahan warna pada media. Menurut Shimada dan Hasegawa (2017) Larutan BTB menunjukkan warna kuning dalam larutan asam lemah, dan berubah menjadi biru melalui hijau pada peningkatan pH.

Jamur mampu berkembang pada pH ekstrim, suhu dan kondisi variabilitas nutrisi, serta toleransi terhadap konsentrasi logam tinggi, dengan sifat ini proses remediasi menjadi lebih efektif. Spesies jamur mengadopsi satu atau lebih strategi toleransi terhadap logam meliputi penyerapan dan ekstraksi logam ekstraseluler, masuknya tertekan, peningkatan efflux logam, produksi enzim intra-seluler/ekstraseluler, pengikatan logam ke dinding sel, penyerapan dan kompleksasi sel intraseluler (Oladipo. *et al.*, 2018). Mekanisme lain yang dapat dilakukan Jamur untuk menurunkan kandungan logam adalah dengan mengikat ion-ion logam pada kitin di dinding sel jamur melalui vesikel-vesikel jamur yang menyimpan ataupun mengisolasi senyawa toksik tersebut (Arisusanti dan Purwani, 2013). Faktor-faktor yang dapat secara langsung berpengaruh di dalam proses bioremediasi antara lain sumber energi (donor elektron), akseptor elektron, nutrisi, pH, temperatur, substrat atau metabolit penghambat, bentuk alami polutan (solid, semisolid, liquid, volatil, toksik atau tidak, organik atau anorganik), logam berat atau tidak, bentuk hidrokarbon aromatik polisiklik, atau bentuk lainnya, serta diversitas mikroorganisme (Boopathy, 2000).

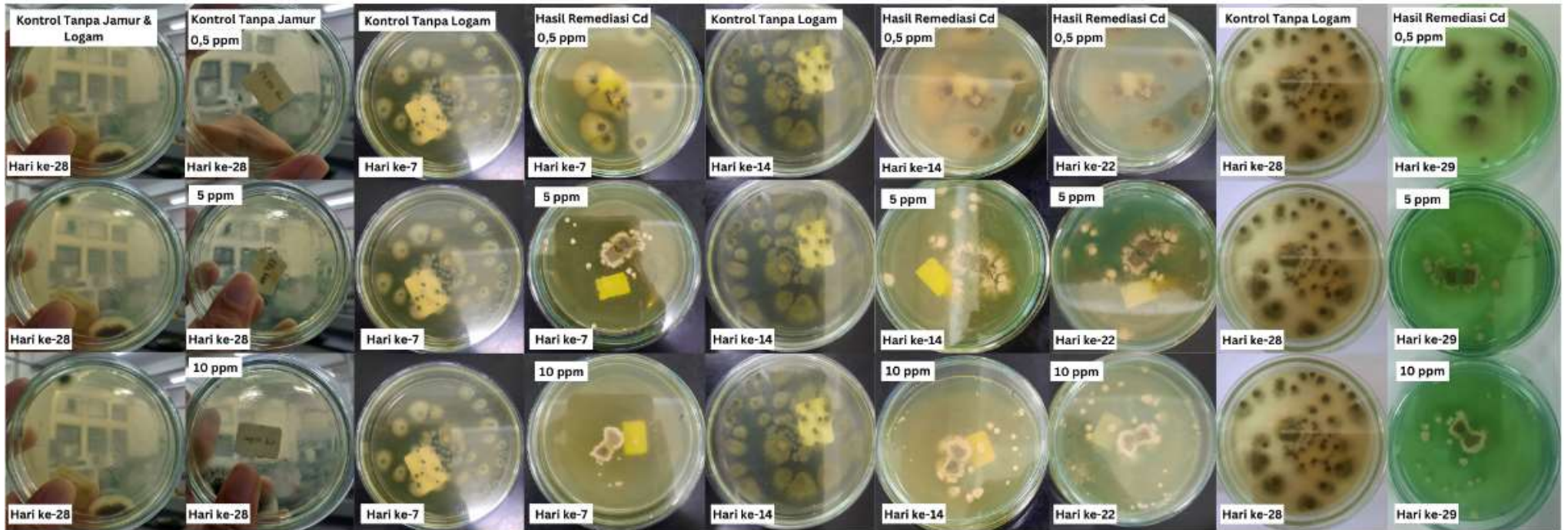
Uji remediasi dengan penambahan konsentrasi kadmium dibagi dalam 3 jenis media dengan konsentrasi berbeda yaitu 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan jamur dalam meremediasi kadmium dalam media minim nutrisi. Semua isolat dapat tumbuh pada media dan diduga bahwa seluruh isolat mampu meremediasi logam kadmium.

4.4.1 Uji Remediasi Oleh Isolat 1

Isolat 1 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 1 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Semakin tinggi konsentrasi logam yang diberikan, pertumbuhan jamur semakin lambat. Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan dengan kontrol.

Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki warna hifa hitam, media agar berubah menjadi kuning kehijauan, dan memiliki jumlah koloni sebanyak 10 koloni dengan hifa yang menyebar luas. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki warna hifa putih keabuan, media agar berubah menjadi hijau kebiruan, dan memiliki jumlah koloni sebanyak 18 koloni dengan hifa yang cukup menyebar. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki warna hifa putih, media agar berubah menjadi hijau kebiruan dengan dominan biru, dan memiliki jumlah koloni sebanyak 55 koloni dengan hifa yang tidak menyebar

Perubahan warna pada hifa membuktikan bahwa penambahan konsentrasi logam mempengaruhi pertumbuhan dan tampak jamur. Saat awal dilakukan inokulasi, media agar berwarna kuning yang menandakan pH media tersebut adalah asam namun terjadi perubahan warna media menjadi biru dengan melewati hijau yang menunjukkan terjadinya perubahan pH media ke arah basa.

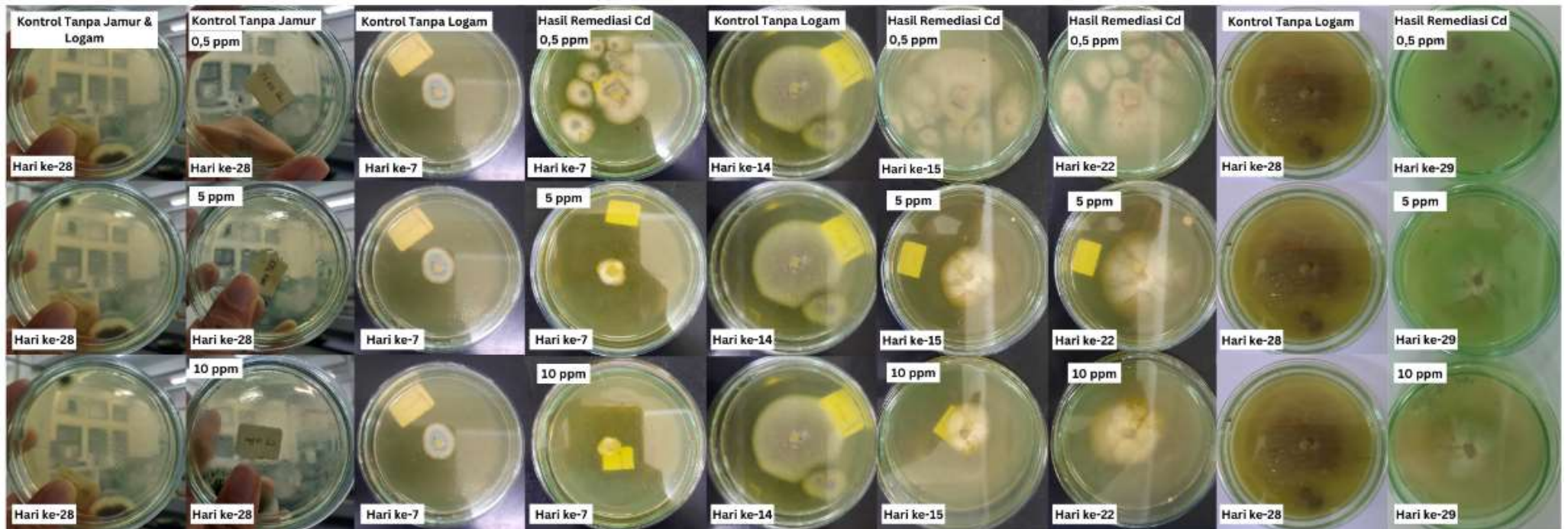


Gambar 4. 2 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 1 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.2 Uji Remediasi Oleh Isolat 2

Isolat 2 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 2 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Cawan dengan logam 0,5 ppm menghasilkan jamur dengan karakter pertumbuhan yang menyebar, berbeda dengan jamur pada cawan dengan logam 5 ppm dan 10 ppm yang karakter pertumbuhannya berpusat pada titik inokulasi.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium pada konsentrasi 0,5 ppm memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, sedangkan pertumbuhan jamur pada media dengan penambahan kadmium pada konsentrasi 5 ppm dan 10 ppm menunjukkan pertumbuhan yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki warna hifa hitam dengan kuning di tengah dan memiliki jumlah koloni sebanyak 13 koloni dengan hifa yang menyebar luas. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki warna hifa putih dengan kuning di tengah dan memiliki jumlah koloni sebanyak 5 koloni dengan hifa yang lebih menyebar dibanding cawan dengan logam 10 ppm. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki warna hifa putih dengan kuning di Tengah dan memiliki jumlah koloni sebanyak 3 koloni. Ketiga cawan mengalami perubahan warna menjadi kuning kehijauan. Warna hijau semakin dominan pada cawan dengan konsentrasi logam semakin tinggi.

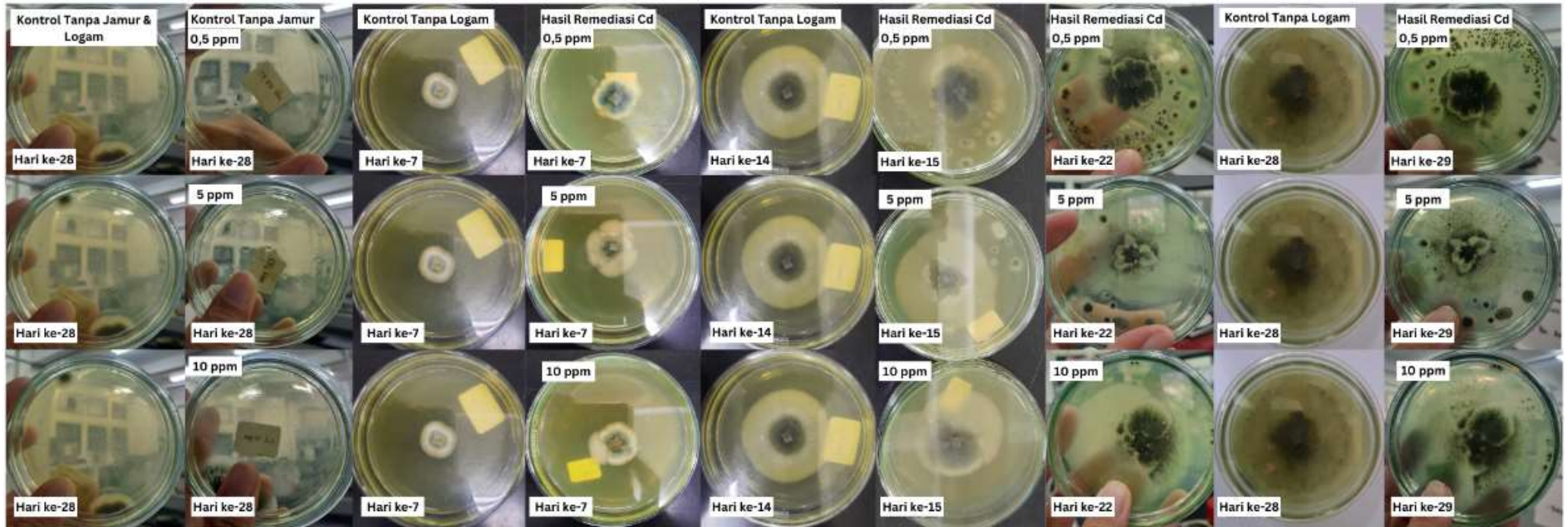


Gambar 4. 3 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 2 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.3 Uji Remediasi Oleh Isolat 3

Isolat 3 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 3 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Penyebaran koloni menurun dengan meningkatnya kandungan konsentrasi logam pada media.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium pada konsentrasi 5 ppm memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Terlihat jelas pada **Gambar 4.4** pertumbuhan jamur hari ke-15 pada konsentrasi 5 ppm memiliki penyebaran hifa yang lebih luas dibandingkan kontrol. Sedangkan pertumbuhan jamur pada media dengan penambahan kadmium pada konsentrasi 0,5 ppm dan 10 ppm menunjukkan pertumbuhan yang hampir sama dengan kontrol. Pada hari ke-29, seluruh jamur memiliki warna yang sama yaitu hitam, namun pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm jumlah koloni yang dihasilkan sebanyak 76 koloni, 5 ppm sebanyak 12 koloni, dan 10 ppm sebanyak 9 koloni. Perubahan warna yang terjadi pada media tidak begitu signifikan. Warna media masih dominan kuning namun ada sedikit perubahan warna ke hijau.

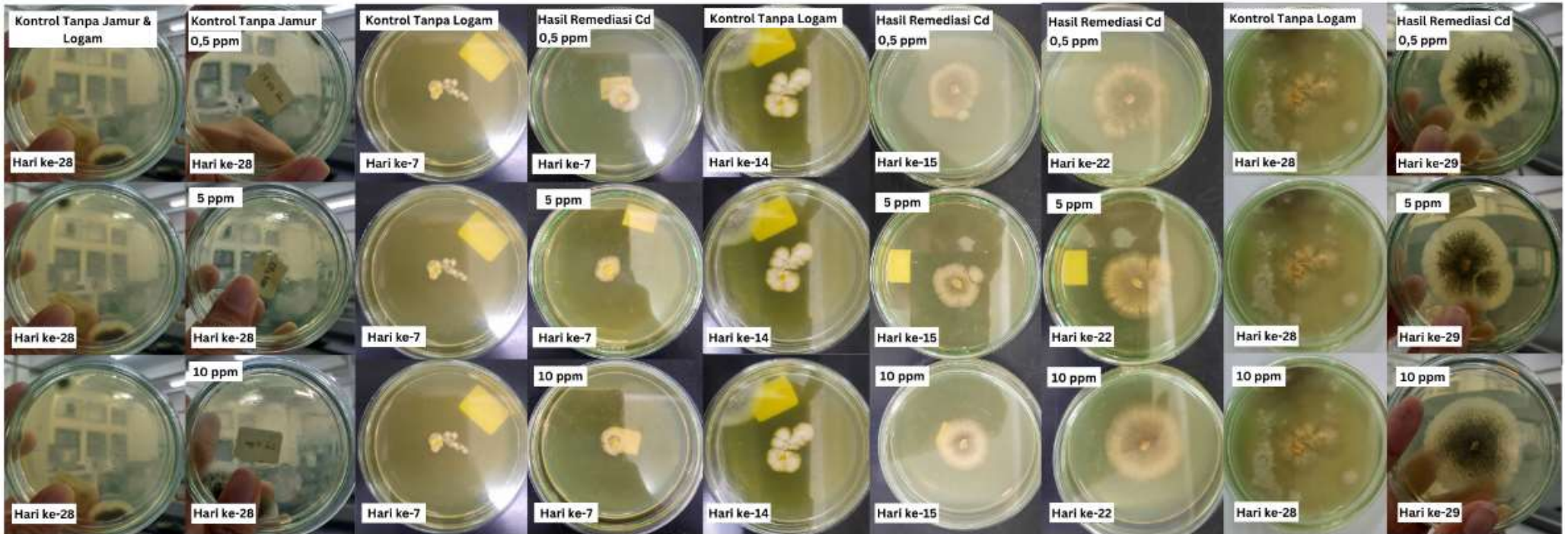


Gambar 4. 4 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 3 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.4 Uji Remediasi Oleh Isolat 4

Isolat 4 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 4 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam, namun seluruhnya memiliki karakter pertumbuhan yang berfokus pada titik inokulasi dengan diameter koloni sebesar 3,5 cm untuk setiap jamur.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut dapat menjadi indikasi bahwa jamur mengonsumsi logam untuk metabolisme. Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki warna hifa hitam dan paling gelap dibandingkan cawan dengan konsentrasi lain, dikarenakan penumpukan hifa pada titik inokulasi. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki warna hifa hitam dan memiliki penumpukan hifa pada titik inokulasi, namun tidak sebanyak jamur pada cawan dengan logam 0,5 ppm. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki warna hifa hitam dan penumpukan hifa pada titik koloni tidak sebanyak jamur pada cawan lain. Tidak terjadi perubahan warna media.

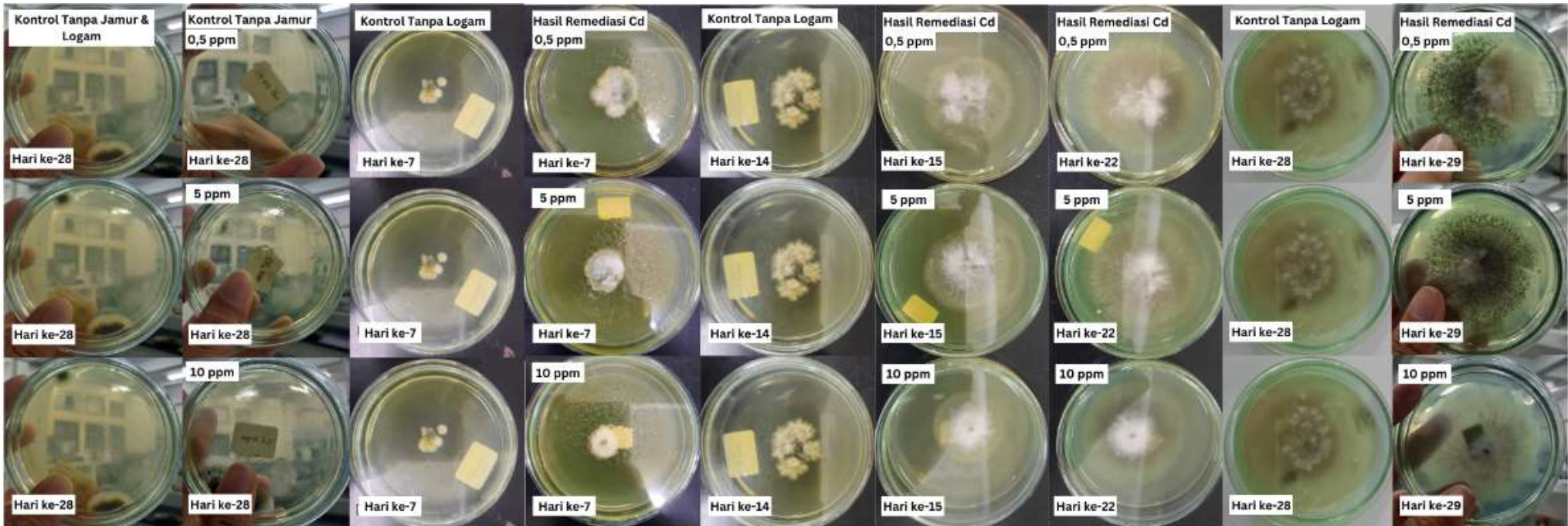


Gambar 4. 5 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 4 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.5 Uji Remediasi Oleh Isolat 5

Isolat 5 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 5 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Seluruh jamur pada tiap cawan menghasilkan jamur dengan karakter pertumbuhan berpusat di titik inokulasi dengan hifa yang menyebar.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dengan penyebaran hifa yang lebih luas dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut dapat menjadi indikasi bahwa jamur mengonsumsi logam untuk metabolisme. Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki warna hifa hitam dan putih dengan 2/3 bagian didominasi oleh hifa hitam dan memiliki diameter sebesar 5 cm. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki warna hifa hitam dan putih dengan 3/4 bagian didominasi oleh hifa hitam dan memiliki diameter sebesar 5,5 cm. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki warna hifa putih dengan bercak keabuan dan memiliki diameter sebesar 5,7 cm. Ketiga cawan mengalami perubahan warna menjadi kuning kehijauan. Media dengan konsentrasi logam 5 ppm memiliki warna hijau yang lebih pekat dibanding media dengan konsentrasi logam 0,5 ppm dan pada media dengan konsentrasi cadmium 10 ppm, terdapat gradasi biru.

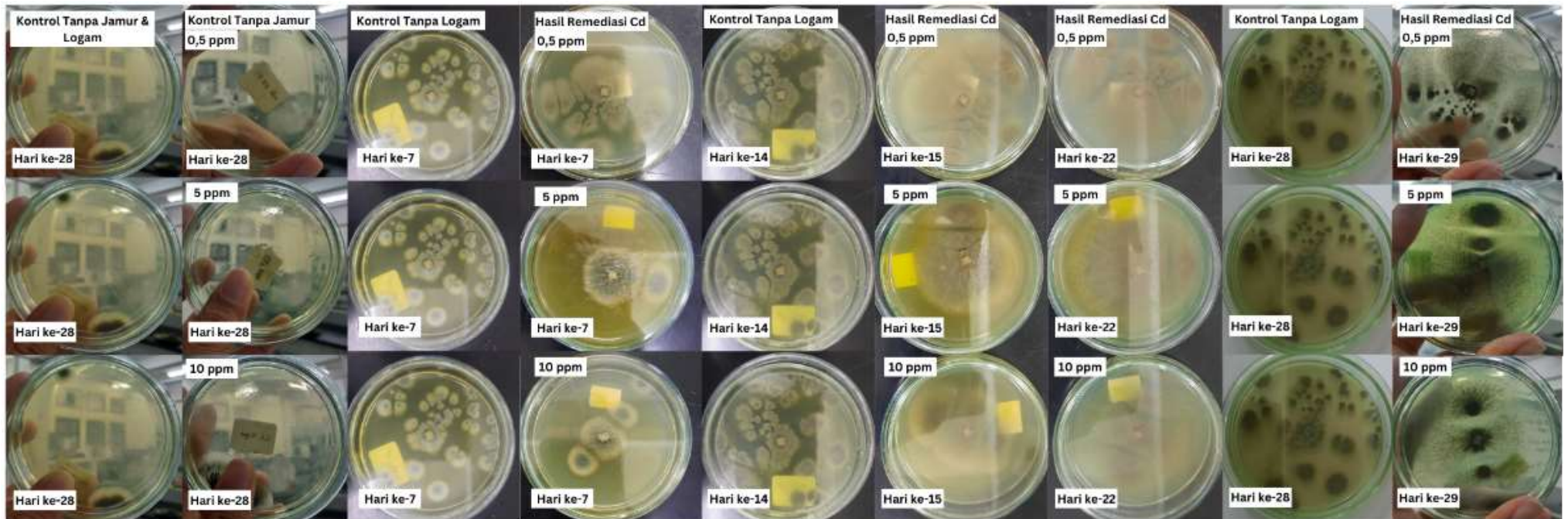


Gambar 4. 6 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 5 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.6 Uji Remediasi Oleh Isolat 6

Isolat 6 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 6 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Penyebaran koloni semakin tinggi pada cawan dengan konsentrasi logam yang semakin kecil, namun ketiganya memiliki persebaran hifa yang luas.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi (perbandingan pertumbuhan dilihat pada titik pusat inokulasi) dibandingkan dengan kontrol. Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki warna hifa hitam dan memiliki jumlah koloni sebanyak 29 koloni. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki warna hifa hitam dan memiliki jumlah koloni sebanyak 3 koloni dengan penyebaran hifa lebih luas dibanding cawan dengan logam 10 ppm. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki warna hifa hitam dan memiliki jumlah koloni sebanyak 4 koloni. Ketiga cawan mengalami perubahan warna menjadi kuning kehijauan. Warna hijau semakin dominan pada cawan dengan konsentrasi logam semakin tinggi.

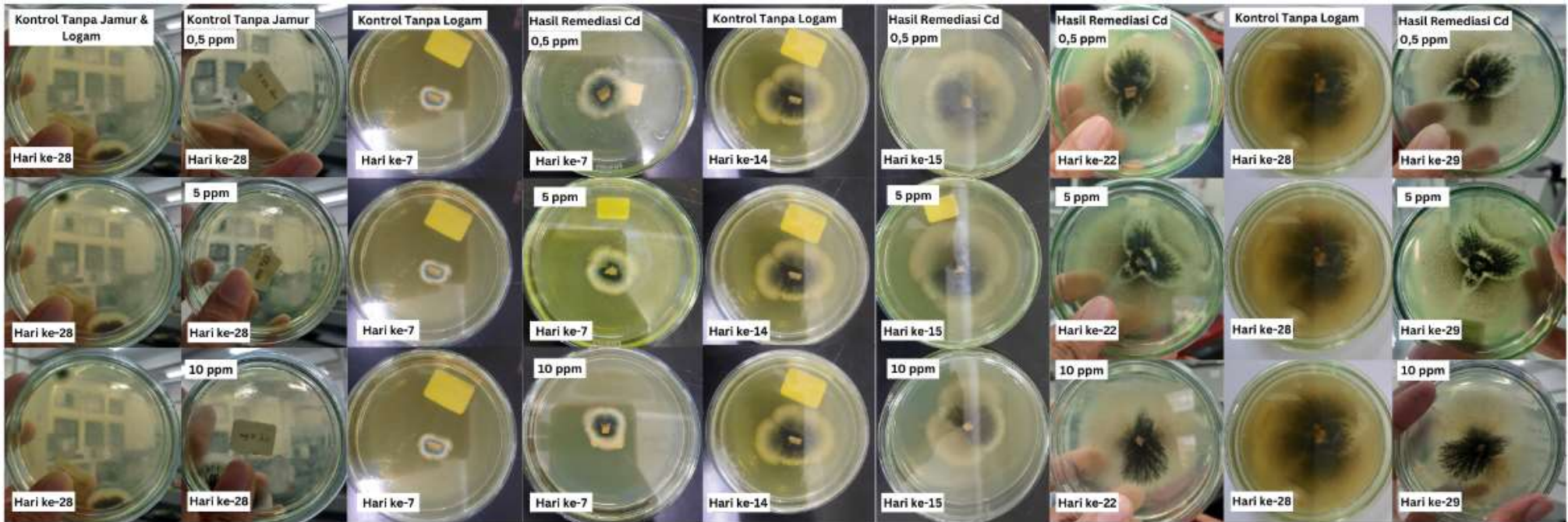


Gambar 4. 7 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 6 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.7 Uji Remediasi Oleh Isolat 7

Isolat 7 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 7 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam. Penyebaran hifa semakin tinggi pada cawan dengan konsentrasi logam yang semakin kecil. Ketiga jamur memiliki warna hifa kombinasi hitam dan putih.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut dapat menjadi indikasi bahwa jamur mengonsumsi logam untuk metabolisme. Pada hari ke-29, jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm menghasilkan diameter pertumbuhan jamur berturut-turut sebesar 5,5 cm, 5,5 cm, 5,3 cm. Ketiga cawan mengalami perubahan warna menjadi kuning kehijauan.

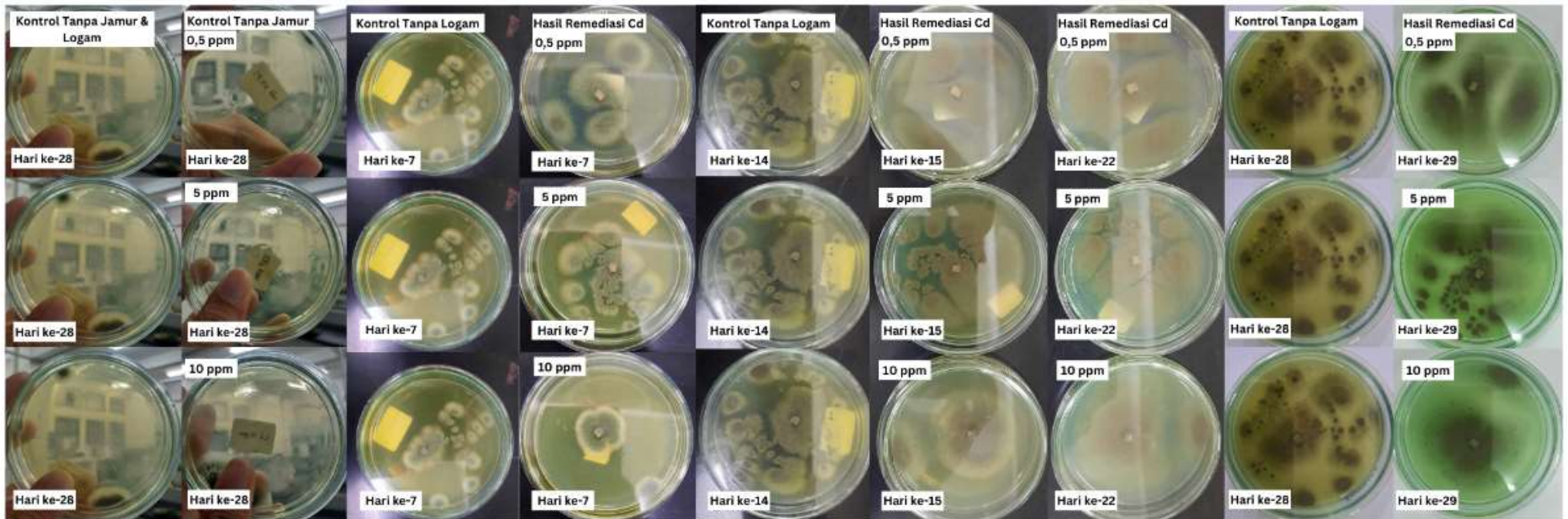


Gambar 4. 8 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 7 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

4.4.8 Uji Remediasi Oleh Isolat 8

Isolat 8 dapat tumbuh di seluruh media uji dengan perbedaan rentang konsentrasi. Dari hasil inkubasi, dapat dilihat bahwa isolat 8 memiliki pertumbuhan yang berbeda di tiap konsentrasi logam.

Jika pertumbuhan jamur dibandingkan dengan kontrol pada hari yang sama, dapat terlihat perbedaan pertumbuhan jamur. Jamur yang tumbuh pada media dengan penambahan kadmium memiliki pertumbuhan yang hampir sama dengan kontrol. Pada hari ke-29, terlihat jamur pada tiap cawan menghasilkan hifa berwarna hitam. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 0,5 ppm memiliki jumlah koloni sebanyak 4 koloni dengan penyebaran hifa luas. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 5 ppm memiliki jumlah koloni sebanyak 38 koloni dengan penyebaran hifa yang tidak begitu luas. Jamur pada media dengan konsentrasi kadmium 10 ppm memiliki jumlah koloni sebanyak 2 koloni. Ketiga cawan mengalami perubahan warna menjadi hijau.



Gambar 4. 9 Penampakan hasil remediasi logam Cd oleh isolat 8 menggunakan media minim nutrisi dan penambahan BTB

Keseluruhan isolat jamur menghasilkan pertumbuhan yang semakin lambat dengan meningkatnya konsentrasi logam. Menurut Lima (2018) peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan secara langsung akan mempengaruhi keanekaragaman mikroba, struktur komunitas dan aktivitas metabolisme, menyebabkan hilangnya spesies yang rentan, dan peningkatan toleran spesies atau peningkatan ekspresi mekanisme resistensi.

Perubahan warna pada hifa membuktikan bahwa penambahan konsentrasi logam mempengaruhi pertumbuhan dan tampak jamur. Saat awal dilakukan inokulasi, media agar berwarna kuning yang menandakan pH media tersebut adalah asam namun terjadi perubahan warna media ke arah biru dengan melewati hijau yang menunjukkan terjadinya kenaikan pH media. Perubahan warna pada media oleh BTB sebagai indikator pH menunjukkan adanya aktivitas enzim pada media (Elsababty *et al.*, 2015).

Beberapa mikroba melakukan bioremediasi yang didasarkan oleh konversi redoks yang dikatalisis menjadi bentuk tidak larut. Reaksi reduksi atau oksidasi ini terjadi karena aktifitas enzimatis dan konsentrasi biomassa mikroba (Dixit R. *et al.*, 2015). Sejumlah enzim yang diproduksi oleh fungi antara lain enzim pendegradasi lignin yang meliputi lignin peroxidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), enzim penghasil H₂O₂, lakkase, amilase, lipase, dan protease. Fungi memanfaatkan sejumlah pati, lemak, protein, pektin, selulosa, hemiselulosa sebagai sumber karbon. Bahkan, beberapa fungi mampu mengurai polimer kompleks seperti keratin, kitin, ataupun lignin (Adenipekun dan Lawal, 2012; Rhodes, 2014; Gupta dan Shrivastava, 2014).

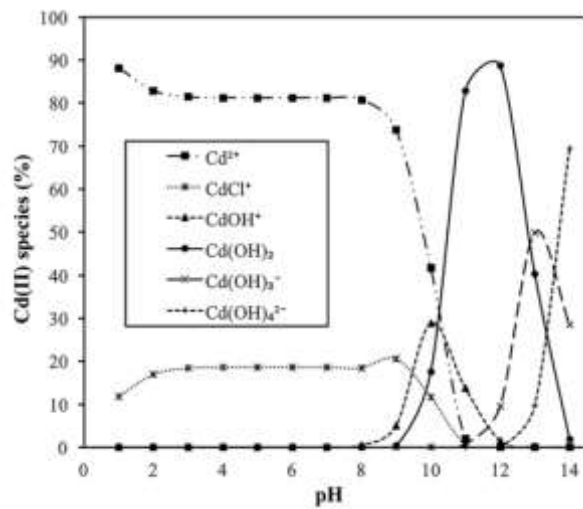
Proses degradasi logam oleh jamur terjadi dengan proses adsorpsi melalui pertukaran ion. Dinding sel jamur bermuatan negatif, sedangkan logam kadmium bermuatan positif, oleh karena itu jamur memiliki kemampuan untuk mengikat kation logam yang kemungkinan terjadi karena adanya interaksi elektrostatik. Logam berat dapat diserap oleh mikroba pada situs pengikatan pada struktur seluler tanpa keterlibatan energi (Bahafid *et al.*, 2015). Menurut Yin *et al.* (2019), mikroorganisme dapat mengikat ion logam berat melalui gugus fungsi yang dimiliki dan dapat mengubah logam berat dari bentuk kompleks menjadi lebih

sederhana melalui melalui reaksi redoks, toksisitas logam berat ion dapat berkurang secara efisien.

Sesuai pengecekan di laboratorium $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ memiliki pH 5. Menurut *National Center for Biotechnology Information* (2023) pH NO_3 adalah 7,3 yang merupakan basa konjugasi. Cd dalam $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ memiliki muatan ion +2, seperti dalam penelitian Yuliangsing V. (2015). Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa Cd^{2+} memiliki pH asam.

Derajat keasaman dapat mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi, karena derajat keasaman mempengaruhi bentuk ion pada Cd yang dapat mempengaruhi proses pertukaran ion dengan dinding sel jamur (Wahyuningsih *et al.*, 2019). Biosorpsi kadmium oleh jamur semakin tinggi seiring dengan kenaikan pH (pH 1 sampai 4 dan paling konstan pada pH 5). Hal ini diduga karena adanya kenaikan muatan negatif pada sel jamur sehingga menyebabkan proton (Cd^{2+}) pindah ke sel (Rakhmawati, 2006). Hal tersebut juga dapat ditunjang dengan sifat kelarutan Cd^{2+} yang tinggi pada pH di bawah 8 (Gambar 4. 10). Penyerapan kadmium oleh jamur akan mengalami kesulitan pada pH di bawah 3 dan di atas 8. Dikarenakan pada pH di bawah 3 atau pada kondisi asam gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi sehingga H^+ berlebih dan akan terjadi kompetisi antara H^+ dengan Cd^{2+} untuk berikatan dengan selulosa (Al-Hawas, 2008; Igwe, 2005; Srivastava, 2004; Souag, 2009). Pada pH diatas 8 mulai terbentuk endapan $\text{Cd}(\text{OH})_2$ karena Cd^{2+} berikatan dengan ion OH^- yang menyebabkan sebagian logam tidak dapat terabsorb (Farida *et al.*, 2019).

Dari penjelasan di atas dapat dikatakan bahwa jamur dapat mengabsorpsi logam kadmium secara optimum pada pH 5 (asam) dan perubahan warna menjadi basa pada media dapat menjadi indikator terserapnya Cd^{2+} dan H^+ oleh jamur dan meninggalkan zat basa yang lebih mayoritas pada media.



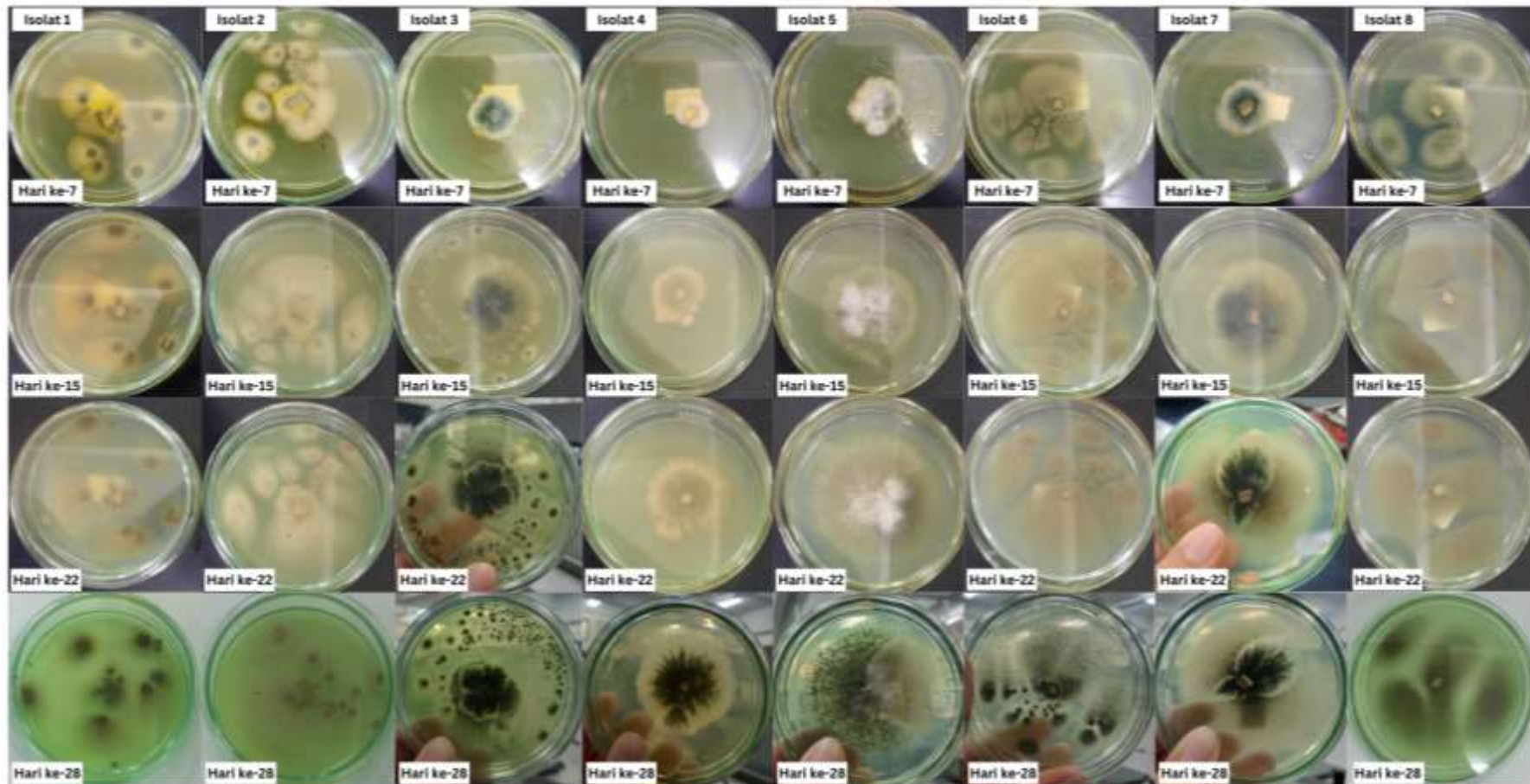
Gambar 4. 10 Distribusi berbagai spesies Cd(II) sebagai fungsi pH

Sumber: (Yang, T., *et al.*, 2018)

4.5 Perbandingan Efektifitas 8 Isolat Dalam Meremediasi Kadmium

4.5.1 Kadmium 0,5 ppm

Dari hasil pengamatan kemudian dibandingkan seluruh isolat pada media dengan paparan kadmium 0,5 ppm.



Gambar 4. 11 Hasil bioremediasi kadmium 0,5 ppm oleh 8 isolat jamur

Perubahan warna terjadi hampir di seluruh media. Pada media isolat 5, terjadi perubahan warna hijau menuju kebiruan yang menandakan perubahan pH menjadi normal menuju basa. Berikut merupakan hasil perhitungan koloni jamur dan diameter pada setiap isolat.

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 0,5 ppm

Jamur	Jumlah Koloni Jamur (Cd 0,5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	+	+	+	+
Isolat 2	+	+	+	+
Isolat 3	+	++++	++++	++++
Isolat 4	+	+	+	+
Isolat 5	+	+	+	+
Isolat 6	++	++	++	++
Isolat 7	+	+	+	+
Isolat 8	+	+	+	+

Keterangan:

- + = Koloni jamur berjumlah 1-20 koloni
- ++ = Koloni jamur berjumlah 21-40 koloni
- +++ = Koloni jamur berjumlah 41-60 koloni
- ++++ = Koloni jamur berjumlah >60 koloni

Tabel 4. 2 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 0,5 ppm

Jamur	Diameter Koloni Jamur (Cd 0,5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	+	+	+	+
Isolat 2	+	++	++	++
Isolat 3	+	++	++	++
Isolat 4	+	+	++	++
Isolat 5	+	++	+++	+++
Isolat 6	++	++	++	++
Isolat 7	++	++	+++	+++
Isolat 8	++	+++	+++	+++

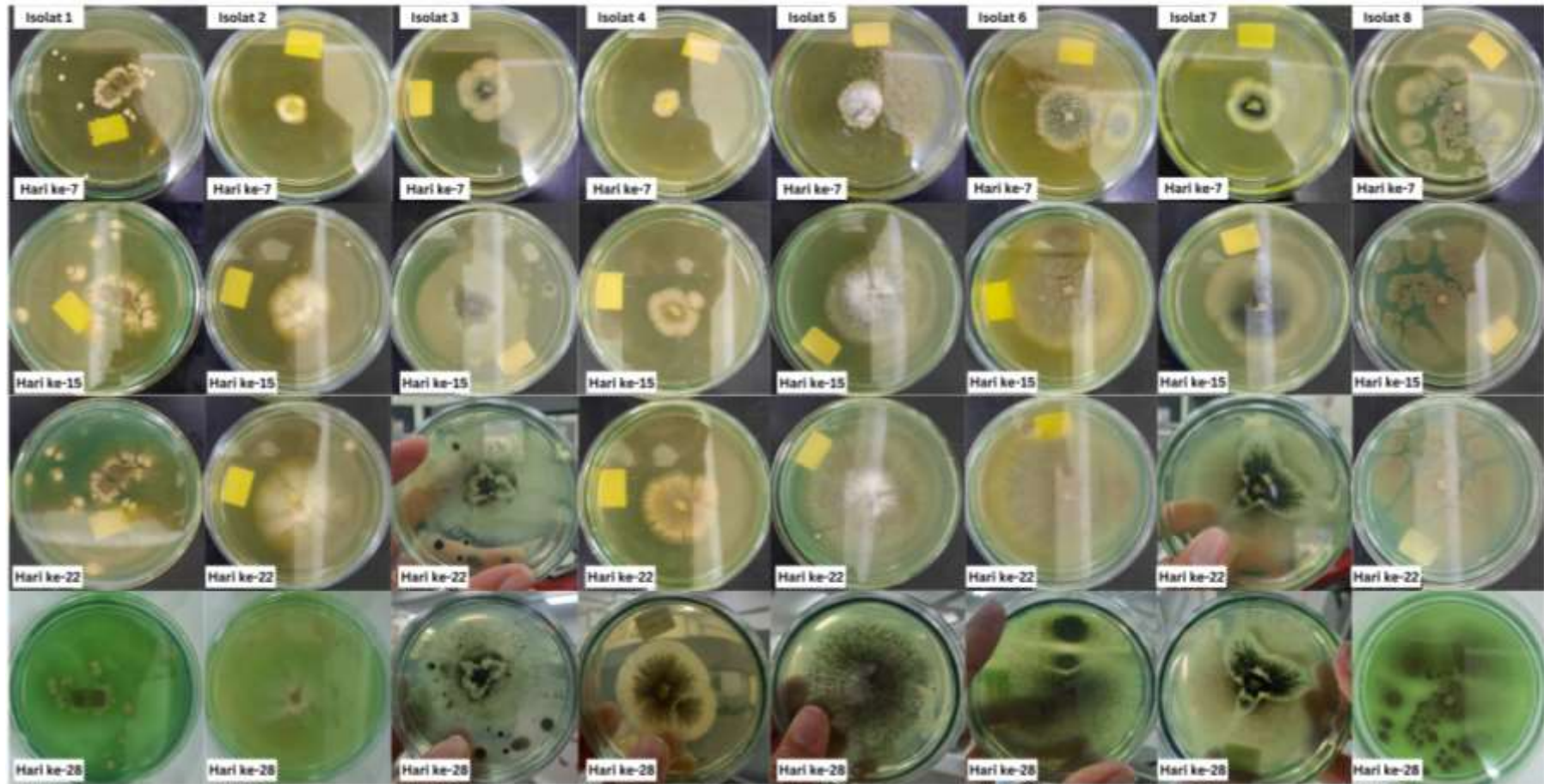
Keterangan:

- + = Koloni jamur berdiameter 0-2 cm
- ++ = Koloni jamur berdiameter 2,1-4 cm
- +++ = Koloni jamur berdiameter 4,1-6 cm
- ++++ = Koloni jamur berdiameter >6 cm

Dari data Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa isolat 3 memiliki penyebaran koloni tertinggi dan isolat 8 memiliki kemampuan tumbuh paling tinggi dikarenakan diameter koloni isolat 8 telah mencapai rentang 2,1-4 cm pada pekan pertama. Namun, penyebaran koloni dapat disebabkan oleh ringannya massa hifa (Suryani, 2020). Oleh karena itu dari seluruh data di atas dapat disimpulkan bahwa isolat 5 yang memiliki potensi optimum sebagai remediator kadmium dikarenakan isolate 5 dapat merubah warna media menuju kebiruan yang menandakan terserapnya kandungan asam (Cd^{2+} dan H^+). Isolat 5 memang hanya memiliki koloni berjumlah kurang dari 20 namun, pertumbuhan diameter isolat 5 meningkat dan pada hari ke 29, rentang diameternya mencapai 4,1-6 cm.

4.5.2 Kadmium 5 ppm

Dari hasil pengamatan kemudian dibandingkan seluruh isolat pada media dengan paparan kadmium 5 ppm.



Gambar 4. 12 Hasil bioremediasi kadmium 5 ppm oleh 8 isolat jamur

Perubahan warna terjadi hampir di seluruh media. Pada media isolat 6, terjadi perubahan warna kuning menuju hijau yang menandakan perubahan pH menjadi netral. Berikut merupakan hasil perhitungan koloni jamur dan diameter pada setiap isolat.

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 5 ppm

Jamur	Jumlah Koloni Jamur (Cd 5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	++	++	++	++
Isolat 2	+	+	+	+
Isolat 3	+	+	+	+
Isolat 4	+	+	+	+
Isolat 5	+	+	+	+
Isolat 6	+	+	+	+
Isolat 7	+	+	+	+
Isolat 8	++	++	++	++

Keterangan:

- + = Koloni jamur berjumlah 1-20 koloni
- ++ = Koloni jamur berjumlah 21-40 koloni
- +++ = Koloni jamur berjumlah 41-60 koloni
- ++++ = Koloni jamur berjumlah >60 koloni

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 5 ppm

Jamur	Diameter Koloni Jamur (Cd 5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	+	+	+	++
Isolat 2	+	++	++	++
Isolat 3	++	++	++	+++
Isolat 4	+	+	++	++
Isolat 5	+	++	+++	+++
Isolat 6	++	+++	+++	+++
Isolat 7	++	+++	+++	+++
Isolat 8	+	++	++	++

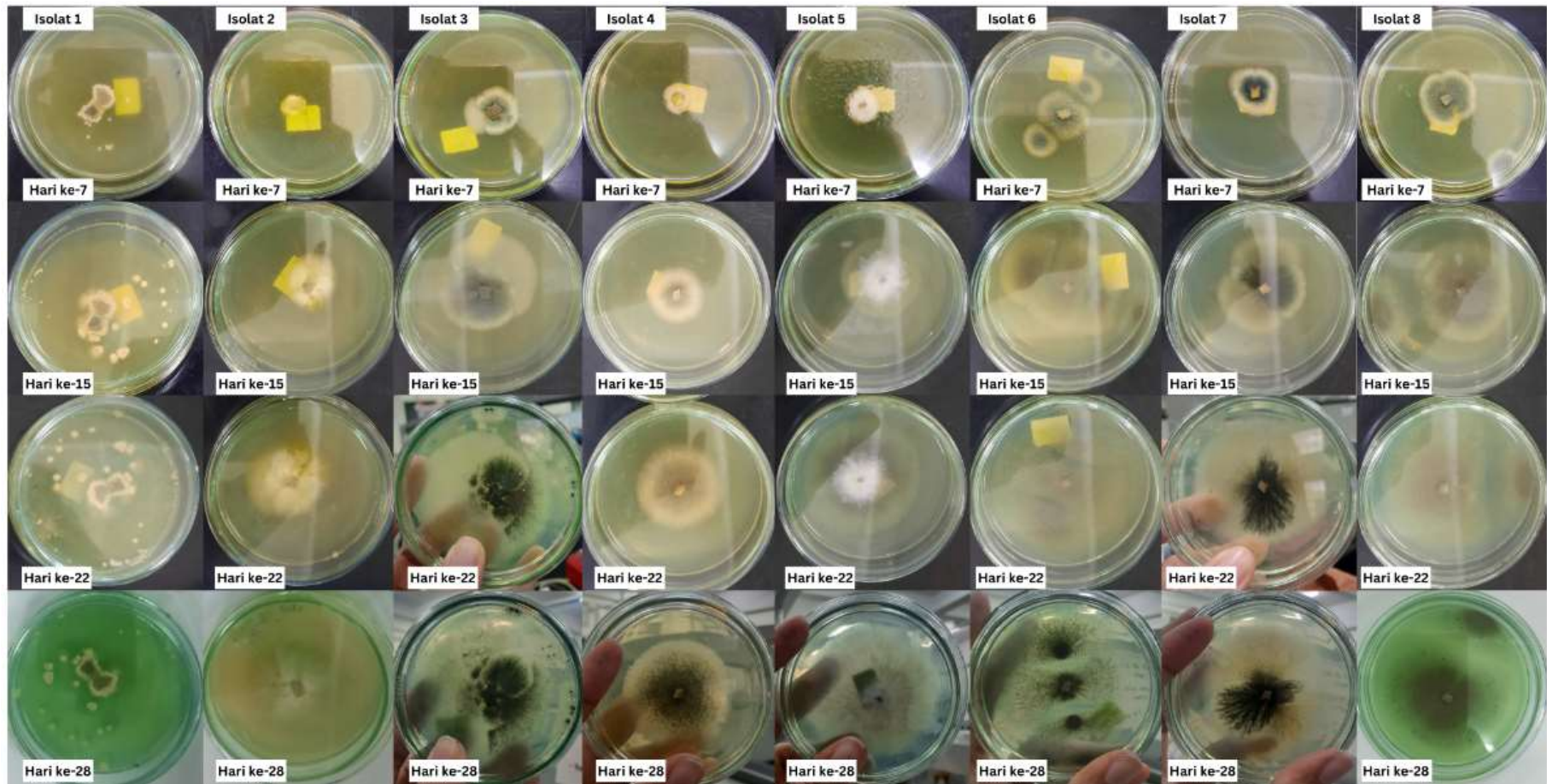
Keterangan:

- + = Koloni jamur berdiameter 0-2 cm
- ++ = Koloni jamur berdiameter 2,1-4 cm
- +++ = Koloni jamur berdiameter 4,1-6 cm
- ++++ = Koloni jamur berdiameter >6 cm

Dari data **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4** dapat disimpulkan bahwa isolat 1 dan 8 memiliki penyebaran koloni tertinggi dan isolat 6 dan 7 memiliki kemampuan tumbuh paling tinggi dikarenakan diameter koloni isolat 6 dan 7 telah mencapai rentang 2,1-4 cm pada hari ke-7 dan mencapai rentang 4,1-6 cm pada hari ke-15. Oleh karena itu dari seluruh data di atas dapat disimpulkan bahwa isolat 6 yang memiliki potensi optimum sebagai remediator kadmium dikarenakan isolat 6 dapat merubah warna media menuju hijau yang menandakan terserapnya kandungan asam (Cd^{2+} dan H^+). Isolat 6 telah mencapai rentang 2,1-4 cm pada hari ke-7 dan terus meningkat.

4.5.3 Kadmium 10 ppm

Dari hasil pengamatan kemudian dibandingkan seluruh isolat pada media dengan paparan kadmium 10 ppm.



Gambar 4. 13 Hasil bioremediasi kadmium 10 ppm oleh 8 isolat jamur

Perubahan warna terjadi hampir di seluruh media. Namun pada media isolat 8, terjadi perubahan warna kuning menjadi hijau yang sangat tampak yang menandakan perubahan pH menjadi netral. Berikut merupakan hasil perhitungan koloni jamur dan diameter pada setiap isolat.

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran koloni isolat jamur pada media Cd 10 ppm

Jamur	Jumlah Koloni Jamur (Cd 5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	+	+++	+++	+++
Isolat 2	+	+	+	+
Isolat 3	+	+	+	++
Isolat 4	+	+	+	+
Isolat 5	+	+	+	+
Isolat 6	+	+	+	+
Isolat 7	+	+	+	+
Isolat 8	+	+	+	+

Keterangan:

- + = Koloni jamur berjumlah 1-20 koloni
- ++ = Koloni jamur berjumlah 21-40 koloni
- +++ = Koloni jamur berjumlah 41-60 koloni
- ++++ = Koloni jamur berjumlah >60 koloni

Tabel 4. 6 Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media Cd 10 ppm

Jamur	Diameter Koloni Jamur (Cd 5 ppm)			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	+	+	+	+
Isolat 2	+	+	++	++
Isolat 3	+	++	++	++
Isolat 4	+	+	++	++
Isolat 5	+	++	++	++
Isolat 6	+	++	++	++
Isolat 7	+	++	++	++
Isolat 8	++	++	++	++

Keterangan:

- + = Koloni jamur berdiameter 0-2 cm
- ++ = Koloni jamur berdiameter 2,1-4 cm
- +++ = Koloni jamur berdiameter 4,1-6 cm
- ++++ = Koloni jamur berdiameter >6 cm

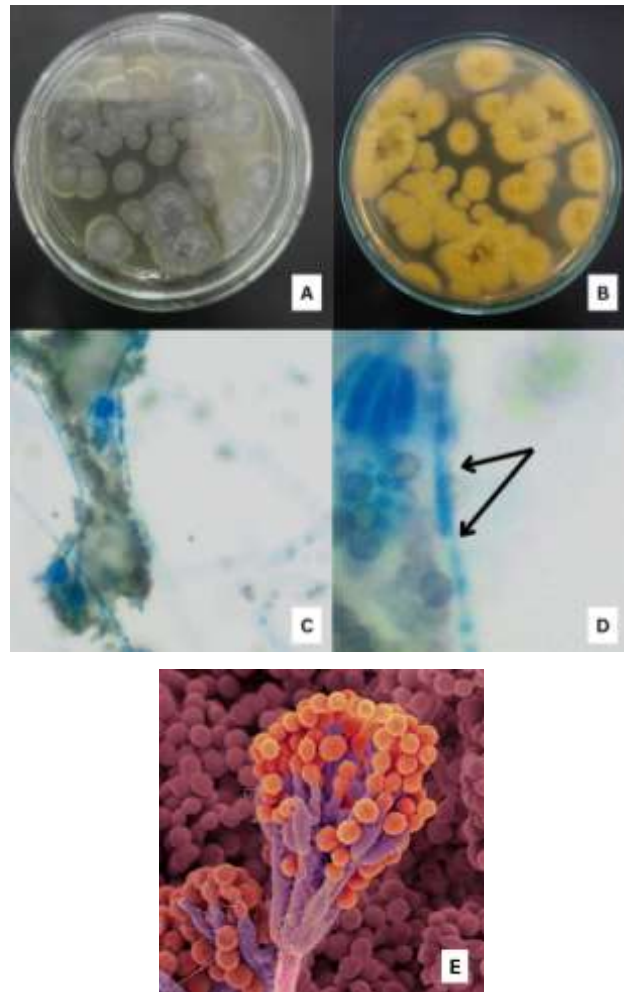
Dari data **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** dapat disimpulkan bahwa isolat 1 memiliki penyebaran koloni tertinggi dan isolat 8 memiliki kemampuan tumbuh paling tinggi dikarenakan diameter koloni isolat 8 telah mencapai rentang 2,1-4 cm pada hari ke-7. Oleh karena itu dari seluruh data di atas dapat disimpulkan bahwa isolat 8 yang memiliki potensi optimum sebagai remediator kadmium dikarenakan isolat 8 dapat merubah warna media menuju hijau yang menandakan terserapnya kandungan asam (Cd^{2+} dan H^+). Isolat 8 telah mencapai rentang 2,1-4 cm pada hari ke-7.

4.6 Identifikasi Hasil Isolasi Jamur Sampel Tanah TPA Piyungan

Dilakukan identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis untuk mengetahui genus jamur tiap isolat. Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan mikroskop perbesaran 400X. Berikut merupakan hasil identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis kedelapan jamur tersebut:

4.6.1 Isolat 1

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni tumbuh berwarna abu-abu muda kehijauan di tengah koloni kemudian bertambah gelap semakin keluar dan dikelilingi warna abu-abu muda di pinggirannya. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu $27^{\circ}C$, koloni jamur tumbuh menyebar dengan sangat cepat hampir menyelimuti seluruh permukaan cawan dibanding isolat lain. Hal tersebut dapat disebabkan oleh spora yang mudah diterbangkan angin.



Gambar 4. 14 Penampakan isolat 1 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 1 memiliki hifa bersepta (bersekat). Mempunyai *septae*, *mycelium* bercabang, dan tidak berwarna. Memiliki hifa berbentuk khas seperti sapu, menurut Suryani (2020) hifa tersebut dinamakan “*Penicillus*”. Hasil pengamatan kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 1 merupakan jamur pada genus *Penicillium*. Seperti pada penelitian Haryati (2018) *Penicillium sp* memiliki rantai konidia bersel tunggal yang diproduksi dari sel khusus konidia yang disebut fialid. Fialid berbentuk seperti labu, terdiri dari bagian

tubuh silindris dan leher yang berbeda, atau lanset (dengan bagian tubuh sempit yang meruncing pada bagian ujung). Konidiofor berbentuk halus atau berdinding kasar.

Tabel 4. 7 Pengamatan isolat 1 secara makroskopis dan mikroskopis

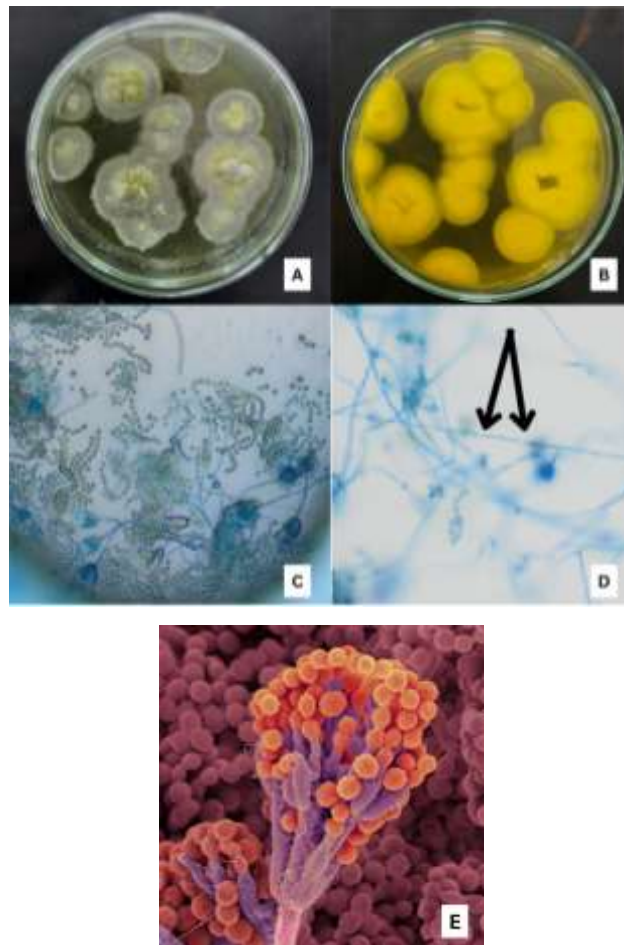
Karakter	Isolat 1	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna abu-abu kehijauan dengan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.6.2 Isolat 2

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni tumbuh berwarna kuning di pusat koloni, abu-abu di bagian tengah ke luar, dan pinggiran putih. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh menyebar tidak secepat isolat 1, namun menyelimuti sebagian besar permukaan cawan.

Pada awal pertumbuhan, isolat 2 memiliki warna kuning di pusat dan putih disekelilingnya, namun dengan bertambahnya hari inkubasi, hifa mulai

menyebarkan dan berubah warna menjadi keabu-abuan. Isolat 2 mempengaruhi warna media agar, membuat media menjadi lebih kuning dari sebelumnya.



Gambar 4. 15 Penampakan isolat 2 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

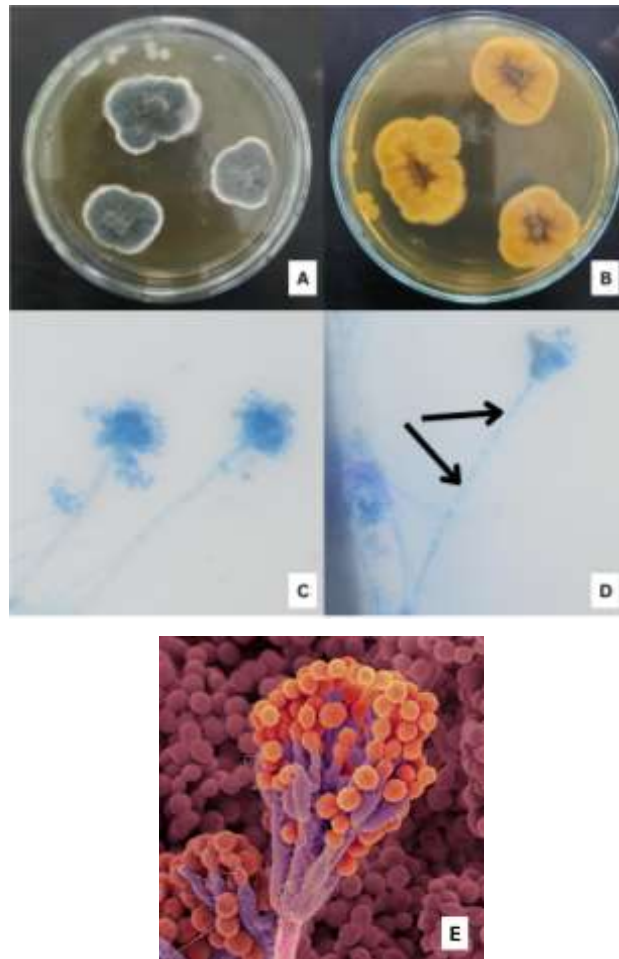
Berdasarkan pengamatan, karakteristik isolat 2 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 2 merupakan jamur pada genus *Penicillium*.

Tabel 4. 8 Pengamatan isolat 2 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 2	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna kuning di pusat koloni, abu-abu kehijauan di bagian tengah ke luar, dan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.6.3 Isolat 3

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni tumbuh berwarna abu-abu dengan pinggiran putih. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh berpusat pada titik kultur.



Gambar 4. 16 Penampakan isolat 3 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

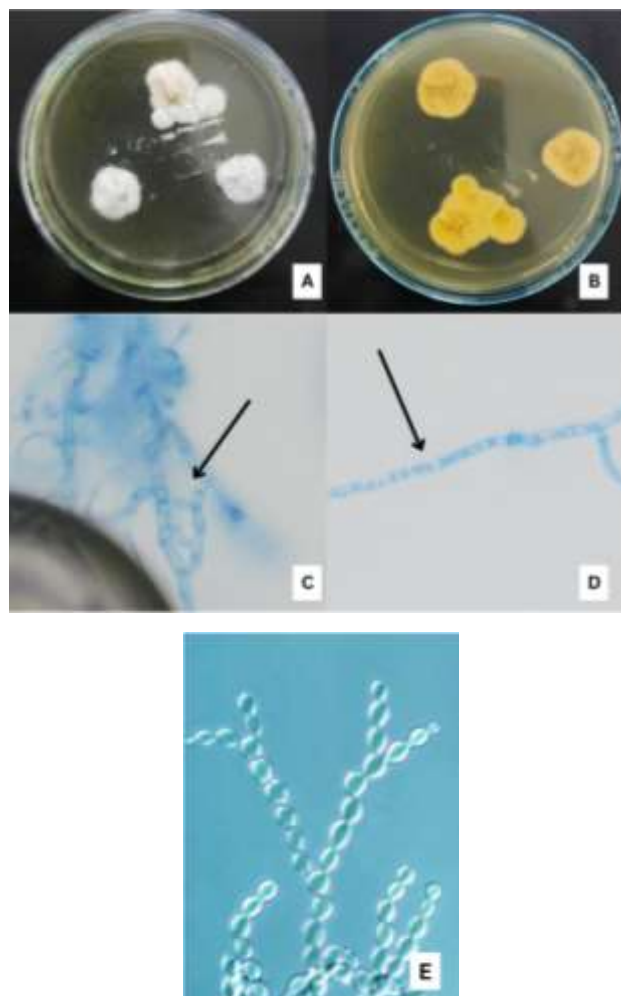
Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 3 memiliki ciri yang mirip dengan isolat 1 dan 2 yaitu hifa bersepta (bersekat) dan memiliki *penicillus*. Karakteristik isolat 3 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 3 merupakan jamur pada genus *Penicillium*.

Tabel 4. 9 Pengamatan isolat 3 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 3	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna abu-abu kehijauan dengan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.6.4 Isolat 4

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni tumbuh berwarna putih. Memiliki tampak atas koloni *verrucose*, dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh berpusat pada titik kultur dan memiliki kecepatan pertumbuhan di bawah isolat 3.



Gambar 4. 17 Penampakan isolat 4 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, tanda panah menunjukkan tunas pada konidia, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Monilla* (Suryani, *et al.*, 2020)

Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 4 memiliki hifa bersepta (bersekat) dan memiliki daerah jaringan yang tidak beraturan. Konidia isolat 4 bertunas, bentuknya menyerupai rantai dan terletak dekat dengan ujung jamur. Memiliki *mycelium* yang bersekat, dan daerah jaringannya tidak beraturan. Apabila mengacu pada buku Suryani (2020) dapat disimpulkan bahwa jamur tersebut merupakan *Monillia sp* atau dapat disebut *Neurospora*. Terdapat askus diujung hifa. Karakteristik isolat 4 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Monillia* terdapat 3 kesamaan dari 5 karakteristik

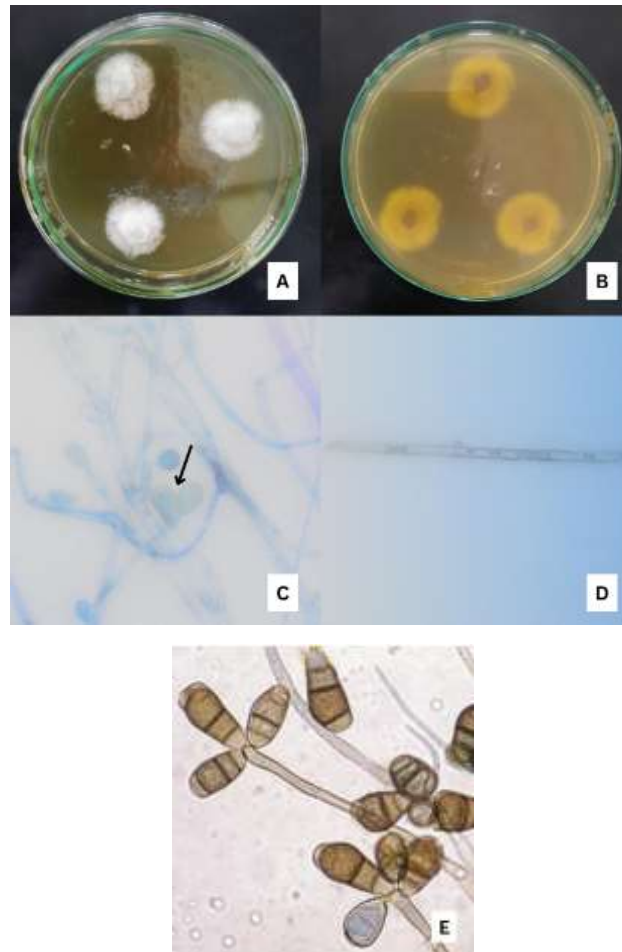
Monillia. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 5 merupakan jamur pada genus *Monillia*. Terdapat kemiripan morfologi mikroskopis isolat dengan penelitian Rahmiati (2018).

Tabel 4. 10 Pengamatan isolat 4 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 4	<i>Monillia</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Halus <i>cottony</i> (Darmuh, 2018)
Tampak Atas	Berwarna putih	Berwarna terang (Darmuh, 2018)
Bentuk	<i>Rugose</i>	-
Hifa	Bersekak, bercabang, dan menyerupai rantai	Bersepta (sekat) (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bertunas, seperti rantai, dan bercabang	Bercabang dan memiliki rantai panjang (Darmuh, 2018)
Dugaan Genus	<i>Monillia</i>	

4.6.5 Isolat 5

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni tumbuh berwarna putih. Memiliki tampak atas koloni *umbonate*, dengan tekstur seperti kapas. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh berpusat di titik inokulasi dengan karakter pertumbuhan lambat dan tidak menyebar.



Gambar 4. 18 Penampakan isolat 5 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, tanda panah menunjukkan konidia, (D) Hifa, (E) *Curvularia* (Suryani, *et al.*, 2020)

Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 5 memiliki hifa yang tidak bersepta (bersekat) namun bercabang. Konidia isolat 5 berbentuk melengkung dan berkelompok di ujung cabang konidiophore. Koloninya padat, memiliki konidia melengkung dan terdiri dari 3-5 sel dengan septa yang bergaris-garis. Konidinya berkelompok di ujung konidiosfor dan memiliki miselium dan konidia yang gelap. Salah satu sentral tiap konidia memiliki ukuran yang lebih besar dari sel lainnya. Karakteristik isolat 5 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Curvularia*, terdapat 4 kesamaan dari 5 karakteristik *Curvularia*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 5 merupakan jamur pada genus *Curvularia sp.*

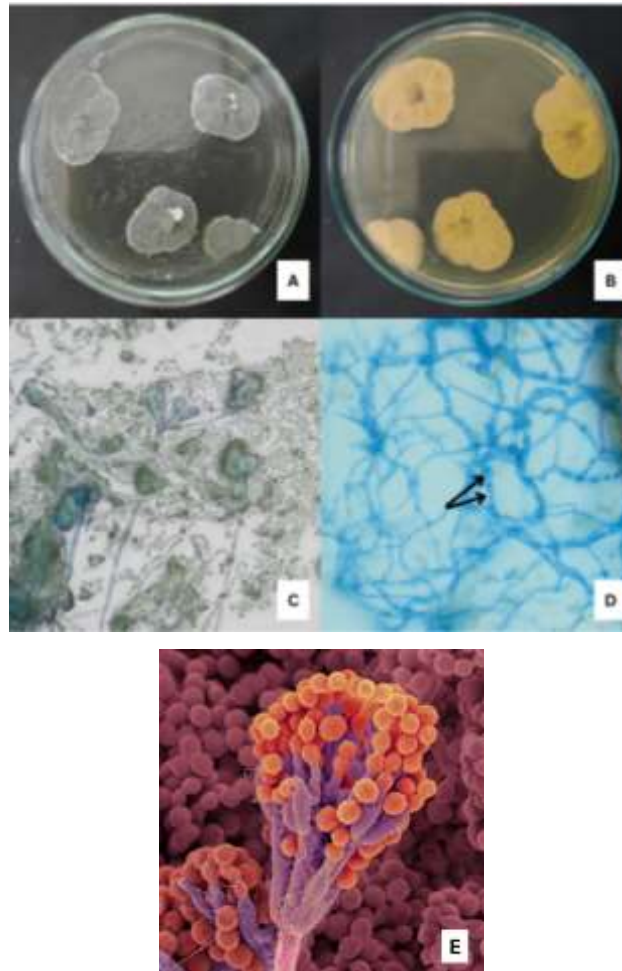
Suganda (2018) mendapatkan karakteristik morfologi yang sama dalam penelitiannya.

Tabel 4. 11 Pengamatan isolat 5 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 5	<i>Curvularia</i>
Tekstur	Seperti kapas (<i>cottony</i>)	Halus seperti kapas (Sobianti, <i>et al.</i> , 2020)
Tampak Atas	Berwarna putih dengan pertumbuhan lambat dan tidak menyebar	Bewarna kelabu kehitaman (Sobianti, <i>et al.</i> , 2020)
Bentuk	<i>Umbonate</i>	Bagian tengahnya menggungung (Kalpajar, 2015)
Hifa	Tidak bersekat, bercabang	Bersekat (Suryani, <i>et</i> <i>al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Melengkung	Melengkung (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Curvularia</i>	

4.6.6 Isolat 6

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni yang tumbuh berwarna abu-abu. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh lebih cepat dibanding isolat 5.



Gambar 4. 19 Penampakan isolat 6 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 6 memiliki hifa yang bersepta (bersekat), bercabang, dan memiliki *penicillus*. Isolat 6 memiliki ciri yang sama dengan isolat 1. Konidia isolat 6 tumbuh dengan sangat subur hingga membentuk rantai. Karakteristik isolat 6 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 6 merupakan jamur pada genus *Penicillium*.

Tabel 4. 12 Pengamatan isolat 6 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 6	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna abu-abu dengan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerahmerahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.6.7 Isolat 7

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni yang tumbuh berwarna abu-abu dengan pinggiran putih. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh berpusat di titik inokulasi dan memiliki karakter pertumbuhan menengah, tidak cepat dan tidak lambat.



Gambar 4. 20 Penampakan isolat 7 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

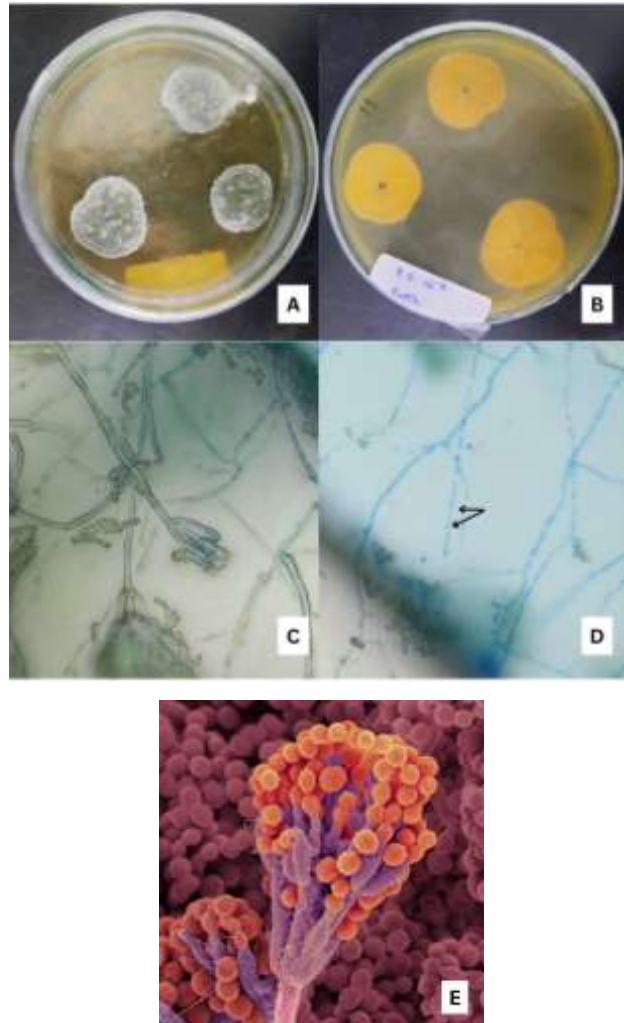
Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 7 memiliki hifa yang bersepta (bersekat), bercabang, dan memiliki *penicillus*. Konidia isolat 7 tumbuh lumayan banyak namun tidak sebanyak isolat 6. Karakteristik isolat 7 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 7 merupakan jamur pada genus *Penicillium*.

Tabel 4. 13 Pengamatan isolat 7 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 7	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna abu-abu dengan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.6.8 Isolat 8

Berdasarkan pengamatan makroskopis pada media biakan, koloni yang tumbuh berwarna abur-abu. Memiliki tampak atas koloni berkerut (*rugose*), dengan tekstur beludru. Setelah 14 hari diinkubasi dengan suhu 27°C, koloni jamur tumbuh berpusat di titik inokulasi dan memiliki karakter pertumbuhan menengah.



Gambar 4. 21 Penampakan isolat 8 secara makroskopis dan mikroskopis. (A) Tampak depan jamur, (B) Tampak belakang, (C) Penampakan mikroskopis (hifa dan konidia) jamur pada perbesaran mikroskop 400X, (D) Tanda panah menunjukkan sekat pada hifa, (E) *Penicillium* (Suryani, *et al.*, 2020)

Berdasarkan pengamatan mikroskopis, isolat 8 memiliki hifa yang bersepta (bersekat), bercabang, dan memiliki *penicillus*. Konidia isolat 8 tumbuh dengan subur namun tidak sebanyak isolat 6. Karakteristik isolat 8 kemudian dibandingkan dengan beberapa ciri *Penicillium*, terdapat kesamaan dari 5 karakteristik *Penicillium*. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa isolat 8 merupakan jamur pada genus *Penicillium*.

Tabel 4. 14 Pengamatan isolat 8 secara makroskopis dan mikroskopis

Karakter	Isolat 8	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvetly</i>)	Beludru (Singh & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna abu-abu dengan pinggiran putih	Koloni awal putih lalu berubah menjadi biru kehijauan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh, <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>rugose</i>)	<i>Rugose</i> (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersepta (sekat) dan bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiosfor	Bercabang	Bercabang (Suryani, <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

4.7 Alternatif Bioteknologi Jamur Sebagai Pendegradasi Logam Kadmium di Lapangan

Penggunaan jamur sebagai remediator logam di lapangan sejauh ini belum diimplementasikan secara langsung dan hanya tersedia dalam skala laboratorium. Faktor yang harus diperhatikan untuk menumbuhkan jamur di lapangan diantaranya memastikan suhu, pH, potensi redoks, nutrisi pada media pertumbuhan, kelembaban, dan komposisi kimia logam berat (Lubis, 2019). Beberapa contoh penerapan jamur sebagai bioremediasi telah diterapkan adalah penghilangan kontaminan PAH, PCP, PCB, DDT, BTEX, TNT, dan tumpahan minyak berbasis petroleum (Donowati, 2008; KLHK, 2015).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Pengelolaan B3 (2015) dalam aplikasi teknik bioremediasi dikenal dua teknik yang sangat umum diterapkan yaitu biopile dan *landfarming*. Pada teknik biopile, tanah tercemar ditimbun diatas lapisan kedap air dan suplai udara yang diperlukan oleh mikroba dilakukan dengan memasang perpipaan untuk aerasi (pemberian udara) dibawah tumpukan tanah tercemar. Pompa udara dipasang diujung perpipaan sehingga semua bagian tanah yang mengandung mikroba dan polutan berkontak dengan udara. Dengan teknik ini, ketinggian tanah timbunan adalah 1 sampai 1,5 meter. Teknik *landfarming* dilakukan dengan menghamparkan tanah tercemar diatas lapisan kedap air. Ketebalan hamparan tanah 30 – 50 cm memungkinkan kontak mikroba dengan udara. Untuk menjamin bahwa semua bagian dari tanah yang diolah terkontak dengan udara maka secara berkala hamparan tanah tersebut dibalikkan. Nama *landfarming* digunakan karena proses pembalikan tanah yang dilakukan sama dengan pembalikan tanah pada saat persiapan lahan untuk pertanian. Metode diatas dilakukan untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi oleh minyak bumi, namun dengan berbagai studi dan modifikasi, penerapan tersebut juga dapat dilakukan pada tanah yang tercemar logam berat. Hal yang harus diperhatikan dalam aplikasi lapangan menyangkut pengkondisian lapangan dan temperature (Donowati, 2008). Perilaku logam berat di dalam tanah dipengaruhi oleh bentuknya dikarenakan pengaruh pH. Logam berat yang berada di dalam tanah dan larut akan bergerak vertical di kolom tanah dan dalam jangka waktu tertentu akan keluar system tanah dan mencemari air bawah tanah (Salam, 1997). Oleh karena itu dalam proses *landfarming*, pH tanah sangat menentukan kandungan logam dan pergerakannya di dalam tanah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan dari Penelitian ini diantaranya:

1. Sebanyak 8 isolat jamur dominan dari tanah TPA Piyungan telah diisolasi dan diidentifikasi secara morfologi. Isolat tersebut mempunyai karakteristik yang mirip pada genus *Penicillium*, *Monilla*, dan *Curvularia*.
2. Isolat-isolat tersebut memiliki potensi dalam meremediasi logam kadmium yang ditandai oleh pertumbuhan jamur dan perubahan warna pada media modifikasi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan membahas kandungan logam kadmium sebelum dan sesudah uji remediasi menggunakan analisa AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).
2. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan isolasi jamur menggunakan media cair/*broth* untuk mempermudah dalam melakukan pengecekan logam menggunakan analisa AAS.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan uji potensi isolat dengan menggunakan parameter pH yang berbeda untuk mengetahui pengaruh pH terhadap remediasi logam oleh jamur.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adenipekun, C.O. and Lawal, R., 2012. Uses of mushrooms in bioremediation: A review. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 7(3), pp.62-68.
- Akbar, F., 2020. Analisis Kandungan Logam Berat Di Dalam Tanah Tpa Gunung Tugel Banyumas (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Al-Hawas, I., 2008. The impact of EC and pH on the adsorption of Zn and Cd by palygorskite mineral. *European Journal of Scientific Research*, 24(3), pp.451-462.
- Anisa M., *et al.*, 2022. Eksplorasi dan Uji Potensi Jamur Remediator Logam Berat Timbak dan Kadmium pada Pertanian Bawang Merah di Kabupaten Brebes.
- Arifin, M., *et al.*, 2018. Pengaruh posisi lereng terhadap sifat fisika dan kimia tanah pada inceptisols di Jatinangor. *soilrens*, 16(2).
- Arisusanti, R.J. and Purwani, K.I., 2013. Pengaruh Mikoriza *Glomus fasciculatum* Terhadap Akumulasi Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman *Dahlia pinnata*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), pp.E69-E73.
- Ariyani, S.F., 2018. Evaluasi Pengelolaan Sampah Di Tpa Piyungan Kabupaten Bantul.
- Asaku, T.M., 2022. Identifikasi Jamur Dominan Berdasarkan Umur Timbunan Sampah (Studi Kasus: Tpa Piyungan Yogyakarta).
- Ayangbenro, A.S. and Babalola, O.O., 2017. A New Strategy For Heavy Metal Polluted Environments: A Review Of Microbial Biosorbents. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 14(1), p.94.
- Bahafid, W., *et al.*, 2017. Yeast biomass: an alternative for bioremediation of heavy metals. *Yeast-Industrial Applications*, 559.
- Boopathy, R., 2000. Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource technology*, 74(1), pp.63-67.
- Brijwani, K., *et al.*, 2010. Fungal Laccases: Production, Function, And Applications In Food Processing. *Enzyme Research*, 2010.
- Buckman, H.O., and Brady, N.C., 1982. *Ilmu Tanah*, Bantara Karya Aksara, Jakarta.
- Budhijanto, W., *et al.*, 2020. Evaluasi Rangkaian Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR) dan Micro Bubble Generator (MBG) untuk Pengolahan Air Lindi

- Sampah. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 18(1), pp.1-6.
- Chalid, L.M.F., 2022. Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Cu Dan Pb Menggunakan Metode Spektrometer Serapan Atom Pada Tanah Tpa Piyungan, Bantul.
- Chourasia, E., 2008. Colony Morphology (macroscopic features). King Saud University. Saudi Arabia.
- Darlina, I. and Wilujeng, S., 2020. Isolasi dan Karakterisasi Jamur Indigenous dan Potensinya untuk Biodelignifikasi. *Jurnal Agrotek Indonesia (Indonesian Journal of Agrotech)*, 5(2), pp.1-6.
- Darmono, 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit Universitas Indonesia.
- Darmuh, S., et al., 2018. Keragaman Jenis Jamur yang Menyerang Tanaman Mahoni (*Swietenia Macrophylla* KING.) di Kampus Universitas Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan. *Perennial*, 14(1), pp.9-16.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta, 2022.
- Dixit, R., et al., 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2), pp.2189-2212.
- Donowati and Tjokrokusumo, S. W. 2008. Kemampuan dan Kekuatan Bioremediasi Agen Hayati Jamur Fungi Pelapuk Putih. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(3), pp. 181-188.
- Ekamaida, E., 2017. Counting Total Bacteria In Land Organic Waste Household and Land Inorganic With Total Plate Count Method (TPC). *Jurnal Penelitian Agrisamudra*, 4(2), pp.87-91.
- Elsababty, Z., et al., 2015. Cellulolytic and pectinolytic enzymes of some selected heat resistant fungi. *J Microbiol Exp*, 2(2), 00042.
- Fadhila, D. and Purwanti, I.F., 2022. Kajian Fikoremediasi pada Air Tanah Tercemar Timbal dan Kadmium di Sekitar TPA Wukirsari, Gunungkidul. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), pp.D34-D40.
- Farida, A., et al., 2019. Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung (*Zea mays* L.) Sebagai Adsorben Logam Kadmium Dalam Larutan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4(2).

- Gupta, M. and Shrivastava, S., 2014. Mycoremediation: A management tool for removal of pollutants from environment. *Environ Sci*, 4, pp.289-291.
- Hafsan, H., 2014. *Mikrobiologi Analitik*.
- Haryati, L.D., 2018. Isolasi dan Identifikasi Jamur *Penicillium* sp, yang Berasal Dari Swab Pasien Ulkus Diabetikum. *Jurnal Mahasiswa Farmasi Fakultas Kedokteran UNTAN*, 4(1).
- Hernahadini, N. and Chaerun, S.K., 2019. Identifikasi Morfologi Isolat Fungi Indigen Lahan Tercemar Logam Berat Untuk Bioremediasi Nikel, Cobalt Dan Krom VI. *Journal of Science, Technology and Entrepreneur*, 1(1), pp.92-96.
- Himedia. 2015., Technical Data: Lactophenol Cotton Blue, S016. HiMedia Laboratories Pvt. Ltd. India.
- Ignatova, L., *et al.*, 2021. Characterization Of Cadmium-Tolerant Endophytic Fungi Isolated From Soybean (*Glycine max*) And Barley (*Hordeum vulgare*). *Heliyon*, 7(11).
- Igwe, J.C., *et al.*, 2005. The role of pH in heavy metal detoxification by biosorption from aqueous solutions containing chelating agents. *African Journal of Biotechnology*, 4(10).
- Irianti, T.T. and Nuranto, S., 2021. *Antioksidan dan kesehatan*. Ugm Press.
- Júnior, P.S.P.C., *et al.*, 2020. Endophytic Bacteria Of Garlic Roots Promote Growth Of Micropropagated Meristems. *Microbiological Research*, 241, p.126585.
- Kalpajar, U.S., *et al.*, 2015. Isolasi Jamur Dari Buah Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Yang Terinfeksi Di Perkebunan Kelapa Sawit Kubu Raya. *Jurnal Protobiont*, 4(3).
- Kasam, I., 2011. Analisis Resiko Lingkungan Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), pp.19-30.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Pengelolaan B3, 2015.
- Kumar, V., *et al.*, 2014. Bioremediation Of Petroleum Hydrocarbon By Using *Pseudomonas* Species Isolated From Petroleum Contaminated Soil. *Orient J Chem*, 30(4), pp.1771-1776..
- Lechuga, E.G.O., *et al.*, 2016. Detection Of Extracellular Enzymatic Activity In

- Microorganisms Isolated From Waste Vegetable Oil Contaminated Soil Using Plate Methodologies. *African Journal Of Biotechnology*, 15(11), pp.408-416.
- Lestari, K., 2021. Uji Efektivitas Mikroba Endofit Daun Blimbing Wuluh (*Averrhoa blimbii*) Dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Candida albicans*. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 6(2), pp.84-90.
- Li, H., *et al.*, 2023. Physiological And Proteomic Analyses Reveal The Important Role Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi On Enhancing Photosynthesis In Wheat Under Cadmium Stress. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 261, p.115105.
- Lima, M.A., *et al.*, 2018. Microbial Communities And The Interaction With Heavy Metals And Metalloids: Impact And Adaptation. In *Heavy Metals In The Environment* (pp. 3-14). CRC Press.
- Liu, H., *et al.*, 2022. Dynamics Of Fungal And Bacterial Communities In Different Types Of Soil Ageing With Different Dosages Of Cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 242, p.113860.
- Lubis, S.S., 2019. Bioremediasi Logam Berat oleh Fungi Laut. *AMINA*, 1(2), pp.91-102.
- Madigan, M.T. *et al.*, 2008. Brock biology of microorganisms 12th edn. *Int. Microbiol*, 11, pp.65-73.
- Male, Y.T., *et al.*, 2020. Bioremediation of Pb and Cd Metal from Inner Ambon Bay Sediment Which Contaminated With Heavy Metal Using *Aspergillus niger*. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(2), pp.183-188.
- Mariadi, P.D. and Kurniawan, I., 2020. Analisis Mutu Air Tanah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (Studi Kasus TPA Sampah Sukawinatan Palembang). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 17(1), pp.61-71.
- Ministry of State for Population and Enviromental of Indonesia, and Dalhousie, University Canada. 1992.
- Murtius, W.S., 2018. Modul Praktek Dasar Mikrobiologi. *Universitas Andalas. Padang*.
- Muyassar, M. and Budianta, W., 2021. Pencemaran logam berat pada tanah di

- sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) sampah Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *Kurvatek*, 6(1), pp.11-22.
- Muzeka, F. A., *et al.*, 2019. Analisis Aktivitas Antioksidan Seduhan Bubuk Kopi Robusta dan Arabika Sediaan *Freeze Dried* dan *Spray Dried* Dengan Metode DPPH (1,1-Diphenyl 2-Picrihydrazyl). (*Doctoral dissertation*, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember)
- Najah, S., 2022. Isolasi Jamur Sebagai Pendegradasi Mikroplastik Di Tpa Piyungan Yogyakarta.
- National Center for Biotechnology Information. 2023. PubChem Compound Summary for CID 943, Nitrate. Retrieved September 10, 2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nitrate>.
- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Libro VI Anexo 2. República del Ecuador.
- Nurbaya, T.K., *et al.*, 2014. Uji Kecepatan Pertumbuhan *Fusarium spp.* pada Media Organik dan Media Sintesis. *Jurnal Bionature*, 15(1), pp.45-46..
- Nurdin E., 2022. Pewarnaan Alternatif dengan Menggunakan Filtrat Kulit Kenari pada Uji Mikroskopik Jamur *Candida Albicans* dan *Aspergillus Niger*. Ternate.
- Oladipo, O.G., *et al.*, 2018. Heavy Metal Tolerance Traits Of Filamentous Fungi Isolated From Gold And Gemstone Mining Sites. *Brazilian Journal Of Microbiology*, 49, pp.29-37.
- Palar, H., 1994. Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat. *Jakarta: Rineka Cipta*, 148.
- Purnamawat, F.S., *et al.*, 2015. Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(2), pp.102-113.
- Putra, A.Y. and Mairizki, F., 2020. Analisis Logam Berat pada Air Tanah di Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator*, 5(1), pp.47-53.
- Rahmiati, 2018. Karakteristik Morfologi Koloni Bakteri dan Jamur Pada Pengolahan Asam Drien Dari Buah Durian Sebagai Penunjang Praktikum Mikrobiologi. Aceh.

- Rakhmawati, A., 2006. Biosorpsi Ion Logam Kadmium Oleh *Aspergillus flavus*. In Prosiding Seminar Nasional MIPA.
- Rheisa Mutiara Diarrukmi, R.M.D., 2021. Efektivitas Hasil Pertumbuhan Jamur *Aspergillus Flavus* Pada Media Sda (Sabouraud Dextrose Agar) dan MEA (Malt Extract Agar) Yang Dibandingkan Dengan Media PDA (Potato Dextrose Agar) (Doctoral dissertation, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta).
- Rhodes, C.J., 2014. Mycoremediation (bioremediation with fungi)–growing mushrooms to clean the earth. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26(3), pp.196-198.
- Riyaz, P.P.S.M., *et al.*, 2020. Experimental Investigation of Chromium and Nickel Thin Sheets on EN8 Steel by Plating Technique. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 3(2), pp.509-516.
- Rosihan, A. and Husaini, H. 2017. Logam berat sekitar manusia.
- Said, M., 2008. Pneumonia. Dalam Rahajoe NN, Supriyatno B, dan Setyanto DB. Buku ajar respirologi anak.
- Salam, A.K. 1997. Faktor Logam Berat dalam Pembuatan dan Pemanfaatan Pupuk Kimia untuk Pertanian. Prosiding Seminar Nasional. Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal 103-111.
- Saleem, A. and Ebrahim, M.K., 2014. Production of amylase by fungi isolated from legume seeds collected in Almadinah Almunawwarah, Saudi Arabia. *Journal of taibah university for science*, 8(2), pp.90-97.
- Santi, R., *et al.*, 2015. Pengaruh Fungi Indigenous Toleran Zn terhadap Pertumbuhan Bibit Jagung di Media Tailing Steril. *Jurnal Agro*, 2(1), pp.1-9.
- Shimada, T. and Hasegawa, T., 2017. Determination of equilibrium structures of bromothymol blue revealed by using quantum chemistry with an aid of multivariate analysis of electronic absorption spectra. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 185, pp.104-110.
- Singh, K., *et al.* 1991. An Illustrated Manual on Identification of Some Seed-born *Aspergilli*, *Fuscaria*, *Penicillia* and their Mycotoxins. Department of Biotechnology the Technical University of Denmark. Lyngby Denmark.
- Sobianti, S., *et al.*, 2020. Inventarisasi Jamur Patogen Tular Benih Pada Lima

- Varietas Padi. *Agricultural Journal*. 3(1): 1-15.
- Soemirat J. 1999. Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Suther I. M., Rissik D. 2008. Plankton: A Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality. Collingwood: CSIRO.
- Souag, R., et al., 2009. Adsorption of heavy metals (Cd, Zn and Pb) from water using keratin powder prepared from Algerien sheep hoofs.
- Srivastava, P., et al., 2004, December. Competitive Adsorption of Cadmium (II) Onto Kaolinite As Affected by pH. In 3rd Australian New Zealand Soils Conference, University of Sydney, Australia (pp. 5-9).
- Subowo, Y.B., 2012. Seleksi Jamur Tanah Pendegradasi Selulosa dan Pestisida Deltamethrin dari Beberapa Lingkungan di Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(2), pp.221-230.
- Suganda, T. and Wulandari, D.Y., 2018. *Curvularia* sp. jamur patogen baru penyebab penyakit bercak daun pada tanaman sawi. *Agrikultura*, 29(3), pp.119-123.
- Sumi, S., et al., 2020. Aktivitas Antifungi Ekstrak Metanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum* [Wight] Walp.) Terhadap Pertumbuhan *Hortaea werneckii* (T1) Secara In Vitro. *Jurnal Protobiont*, 9(3)..
- Suryani, Y., 2020. *Mikologi*.
- Thom, C. and M.B. Church., 1926. *The Aspergilli*. Williams & Wilkins Co., Baltimore, Md.
- Valencia, P.E. and Meitiniarti, V.I., 2017. Isolasi Dan Karakterisasi Jamur Lignolitik Serta Perbandingan Kemampuannya Dalam Biodelignifikasi. *Scripta Biologica*, 4(3), pp.171-175..
- Wahyuningsih, A.W.K., Ulfan, I. and Suprpto, S., 2019. Pengaruh pH dan waktu kontak pada adsorpsi remazol brilliant blue R menggunakan adsorben ampas singkong. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), pp.17-19.
- Wakhidah, N., et al., 2021. Keanekaragaman Jamur Patogen pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) di Dataran Rendah. *Konservasi Hayati*, 17(2), pp.63-68.
- Wardani, D.P.A., 2021. Isolasi Dan Identifikasi Jamur Pendegradasi Polietilena Berdensitas Rendah (LDPE) Dari Tempat Pemrosesan Akhir Supit Urang,





- Malang (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Wijyantie, E.D., 2009. Isolasi Dan Uji Aktivitas Antimikrobia Dari Isolat *Streptomyces* Terhadap *Escherichia Coli* Dan Uji Bioautografi (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Yang, T., *et al.*, 2018. Characteristics of cadmium sorption by heat-activated red mud in aqueous solution. *Scientific Reports*, 8(1), p.13558.
- Yin, K., *et al.*, 2019. Microorganism remediation strategies towards heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 360, pp.1553-1563.
- Yulianingsih, V., Pengaruh Amobilisasi Kation Cs^+ dan Cd^{2+} Terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Asam Pada Geopolimer Abu Layang.








“Halaman ini sengaja dikosongkan”








LAMPIRAN

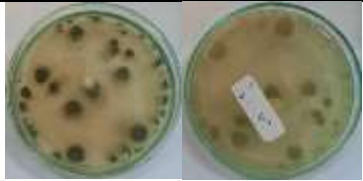





Lampiran 1. Jumlah isolat jamur beserta gambar pada tiap cawan setelah perlakuan pengenceran sampel

Penamaan kode isolat untuk $1.1.10^{-5}$ memiliki arti isolat tersebut berasal dari lokasi pertama dengan perlakuan pengenceran 5 kali sedangkan $1.2.10^{-5}$ memiliki arti isolat tersebut adalah duplo $1.1.10^{-5}$. Berikut merupakan gambar dari jamur pada setiap cawan yang terisolasi dari titik sampel 1,2, dan 3 serta hasil perhitungan jumlah koloni jamur menggunakan *Colony Counter*:

Kode Isolat	Karakteristik	Jumlah Koloni	Rata-rata Koloni	Gambar
$1.1 \cdot 10^{-5}$	Kuning dengan pinggiran putih	1	174,5	
	Putih	89		
	Hitam dengan pinggiran putih	89		
$1.2 \cdot 10^{-5}$	Hitam dengan pinggiran putih	170		
$1.1 \cdot 10^{-6}$	Hitam	6	17,5	
$1.2 \cdot 10^{-6}$	Hitam dengan pinggiran putih	29		

Kode Isolat	Karakteristik	Jumlah Koloni	Rata-rata Koloni	Gambar
1.1 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	9	53	
1.2 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	97		
1.1 10 ⁻⁸	Hitam dengan pinggirannya putih	89	121,5	
1.2 10 ⁻⁸	Hitam dengan pinggirannya putih	154		
2.1 10 ⁻⁵	Putih <i>Slimy</i>	6	9,5	
2.2 10 ⁻⁵	Hitam dengan pinggirannya putih	10		
	Putih dengan tengah kuning	1		
	Putih dengan tengah kuning dan atas hitam	2		
2.1 10 ⁻⁶	Hitam dengan pinggirannya putih	142	116	
	Putih	1		

Kode Isolat	Karakteristik	Jumlah Koloni	Rata-rata Koloni	Gambar
2.2 10 ⁻⁶	Hitam dengan pinggirannya putih	89		
2.1 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	48	121,5	
2.2 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	195		
2.1 10 ⁻⁸	Hitam dengan pinggirannya putih	Spreader	139	
2.2 10 ⁻⁸	Hitam dengan pinggirannya putih	139		
3.1 10 ⁻⁵	Cokelat	Spreader	7	
3.2 10 ⁻⁵	Putih dengan tengah kuning	Spreader		
	Hitam dengan pinggirannya putih	7		
	Putih	Spreader		
3.1 10 ⁻⁶	Putih	2	46	

Kode Isolat	Karakteristik	Jumlah Koloni	Rata-rata Koloni	Gambar
	Hitam	32		
$3.2 \cdot 10^{-6}$	Hitam dengan pinggirannya putih	58		
$3.1 \cdot 10^{-7}$	Hitam dengan pinggirannya putih	7	43	
$3.2 \cdot 10^{-7}$	Hitam dengan pinggirannya putih	43		
$3.1 \cdot 10^{-8}$	Hitam dengan pinggirannya putih	Spreader	41	
$3.2 \cdot 10^{-8}$	Hitam dengan pinggirannya putih	41		

Lampiran 2. Perhitungan nilai *total plate counter* (TPC)

Berikut merupakan perhitungan nilai TPC pada tiap titik sampel:

- Nilai TPC sampel titik 1
 Pengenceran 10^{-7} = 97×10^7
 Pengenceran 10^{-8} = $121,5 \times 10^8$
 Menggunakan persyaratan kedua

$$= \frac{121,5 \times 10^8}{97 \times 10^7}$$

= 12,5 > 2 dipakai pengenceran yang lebih kecil

Nilai TPC sampel titik 1 = 121,5 x 10⁸ CFU/gram

- Nilai TPC sampel titik 2

Pengenceran 10⁻⁷ = 121,5 x 10⁷

Pengenceran 10⁻⁸ = 139 x 10⁸

Menggunakan persyaratan kedua

$$= \frac{139 \times 10^8}{121,5 \times 10^7}$$

= 11,44 > 2 dipakai pengenceran yang lebih kecil

Nilai TPC sampel titik 2 = 139 x 10⁸ CFU/gram

- Nilai TPC sampel titik 3

Pengenceran 10⁻⁷ = 121,5 x 10⁷

Pengenceran 10⁻⁸ = 139 x 10⁸

Menggunakan persyaratan kedua

$$= \frac{41 \times 10^8}{43 \times 10^7}$$

= 9,53 > 2 dipakai pengenceran yang lebih kecil

Nilai TPC sampel titik 3 = 43 x 10⁸ CFU/gram

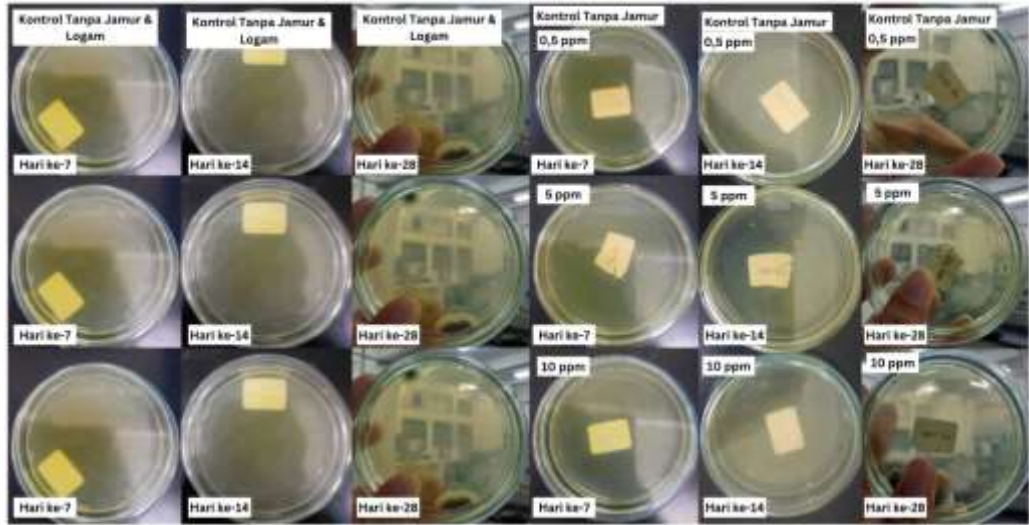
Lampiran 3. Perhitungan kebutuhan kadmium untuk media uji remediasi

Perhitungan kebutuhan berat kadmium untuk pembuatan larutan kadmium 100 ppm dihitung menggunakan rumus konsentrasi:

$$\begin{aligned} M &= \text{ppm} \times v \times \text{Mr Cd(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} / \text{Ar Cd} \\ &= 100 \text{ mg/L} \times 0,1 \text{ L} \times (308,4819/112,411) \\ &= 27,44 \text{ mg} \end{aligned}$$

Lampiran 4. Kontrol media

Kontrol media dibuat sebagai control pertumbuhan jamur dan perubahan warna pada media



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Khodijah Karimah lahir di Bekasi pada 25 Mei 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Agus Riyanto dan Himatul Hasanah. Jenjang pendidikan yang ditempuh penulis dimulai di SDIT Baitul Halim Bekasi, SMPIT Rahmadiyah Bogor dan MA Husnul Khotimah Kuningan. Penulis memasuki jenjang kuliah di Universitas Islam Indonesia pada tahun 2019 sebagai mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP UII. Kegiatan non akademik yang diikuti penulis selama menempuh Pendidikan diantaranya: kepanitiaan, organisasi Lembaga Dakwah Fakultas (LDF) AI – Mustanir FTSP, organisasi Lembaga Eksekutif Mahasiswa FTSP, dan Muallim di jurusan FMIPA. Kegiatan akademik yang diikuti oleh penulis diantaranya: asisten dosen, asisten praktikum, dan asisten Summer Course 2023. Pada Februari 2023, penulis diberi kesempatan untuk bergabung dalam penelitian yang digagaskan oleh Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., Ph.D. mengenai mikroorganisme jamur yang berasal dari TPA Piyungan, Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.