

TUGAS AKHIR
POTENSI JAMUR *INDIGENOUS* DARI TANAH TPA
PIYUNGAN DALAM BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL
(Pb)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



DIAH AQILA FADIA HAYA

19513238

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

TUGAS AKHIR
POTENSI JAMUR INDIGENOUS DARI TANAH TPA
PIYUNGAN DALAM BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL
(Pb)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan




Disusun Oleh:

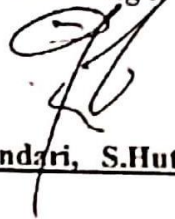
DIAH AQILA FADIA HAYA
19513238

Disetujui,


Dosen Pembimbing I


Annisa Nur Lathifah, S.Si.,
M.Biotech., M.Agr., 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. (Res.Eng.), Ph.D
NIK. 045130401
Tanggal: 20/10.23

HALAMAN PENGESAHAN

**POTENSI JAMUR INDIGENOUS DARI TANAH TPA
PIYUNGAN DALAM BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL
(Pb)**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Jumat

Tanggal: 20 Oktober 2023

Disusun Oleh:

DIAH AQILA FADIA HAYA

19513238

Tim Penguji:

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

()

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

()

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, 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 dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dan 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 tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian 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, 14 September 2023

Yang membuat pernyataan

A handwritten signature in black ink is written over a red and white electronic stamp. The stamp features a QR code, the Garuda Pancasila emblem, and the text 'METERAI ELEKTRONIK 10000'.

DIAH AQILA FADIA HAYA

NIM: 19513238

PRAKATA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Maret 2023 ini ialah **“Potensi Jamur Indigenous dari Tanah TPA Piyungan Dalam Bioremediasi Logam Timbal (Pb)”**. Laporan tugas akhir ini tidak akan selesai dan maksimal tanpa adanya dukungan, do'a, dan bantuan dari berbagai pihak. Terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Kedua orang tua, adik, dan keluarga penulis yang memberikan kepercayaan, dorongan, dan do'a kepada penulis.
2. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D., selaku dosen pembimbing I atas ilmu dan bimbingan yang diberikan selama kuliah serta selama menjalani penelitian.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D., selaku dosen pembimbing II atas ilmu dan bimbingan yang diberikan selama kuliah serta selama menjalani penelitian.
4. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D selaku dosen pembimbing III yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan laporan ini.
5. Mbak Rina Isnikarita, S,Si., selaku laboran yang telah banyak membantu selama menjalani penelitian di laboratorium.
6. Annisa Amalia, Dzuriatuz Dzarwa Al Khudri, Nadiah Armadanti Salma yang telah suka rela mendengarkan keluh kesah penulis dan memberikan dorongan serta do'a.
7. Teman-teman bimbingan Bu Annisa; Sania, Ameng, Benjo, Zahra, Endang, Annas, Hanum atas segala cerita yang telah dilalui selama penelitian, serta Ikhwanul Habib yang telah banyak membantu selama proses penelitian.
8. Teman-teman *Pink House*; Ahsana Hasany Riyadi, Emilyya Sausan Qothrunnada, Rielsa, Khodijah Karimah, Fetria Hikmawati Susilo, Nur

Kumalasari, Anisa Raihana Malau yang telah kebersamai penulis dari awal tahun kuliah hingga saat ini.

9. Teman-teman Teknik Lingkungan 2019 atas segala kisah yang telah dibagi selama kurang lebih 4 tahun ini.
10. Semua pihak yang turut membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis menyadari masih 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.

Yogyakarta, 14 September 2023

Diah Aqila Fadia Haya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

DIAH AQILA FADIA HAYA. Potensi Jamur Indigenus dari Tanah TPA Piyungan Dalam Bioremediasi Logam Timbal (Pb). Dibimbing oleh Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D., Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Pencemaran logam berat merupakan masalah lingkungan yang penting karena dampak yang ditimbulkan bagi makhluk hidup terbilang besar. Salah satu logam berat yang memiliki toksisitas tinggi adalah timbal (Pb). Bioremediasi merupakan pemanfaatan mikroorganisme untuk menurunkan kadar suatu polutan. Mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai bioremediator salah satunya adalah jamur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis jamur *indigenus* tanah TPA Piyungan dan mengetahui potensi jamur tersebut sebagai bioremediator logam timbal. Sampel diambil dari tanah TPA Piyungan dengan kedalaman 40 cm dan dilakukan secara *grab sampling*. Digunakan metode *serial dilution* dan *pour plate* untuk mendapatkan isolat jamur, kemudian dilakukan pemurnian jamur. Uji remediasi dilakukan pada jamur yang diisolasi pada media minim nutrisi dengan tambahan logam timbal dengan variasi konsentrasi 50 ppm, 100 ppm dan 150 ppm, serta larutan *Bromothymol Blue* (BTB). Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan menggunakan pewarnaan *lactophenol blue*. Pada identifikasi makroskopis dilakukan dengan mengamati warna, bentuk permukaan, dan bentuk koloni. Dari delapan isolat jamur yang ditargetkan untuk bioremediasi logam timbal, didapatkan hasil bahwa kedelapan isolat tersebut berpotensi untuk meremediasi logam timbal berdasarkan perubahan pH akibat adanya ikatan ion yang terjadi. Isolat jamur 1, 2, 3, 6, 7 dan 8 mempunyai kemiripan dengan karakteristik jamur jenis *Penicillium*, isolat jamur 4 mirip dengan karakteristik jamur jenis *Monillia*. Sedangkan isolat jamur 5 mirip dengan karakteristik jamur jenis *Curvularia*.

Kata kunci: Bioremediasi, Jamur, pH, TPA Piyungan, Timbal (Pb)

ABSTRACT

DIAH AQILA FADIA HAYA. *The Potential of Indigenous Fungi from Piyungan Landfill Soil in Bioremediation of Lead Metal (Pb)*. Supervised by Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D., Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Heavy metal pollution is an important environmental problem because the impact on living things is fairly large. One of the heavy metals that has high toxicity is lead (Pb). Bioremediation is the use of microorganisms to reduce the levels of a pollutant. One of the microorganisms that can be used as a bioremediator is fungi. This study aims to determine the type of indigenous fungi in Piyungan landfill soil and determine the potential of these fungi as lead metal bioremediators. Samples were taken from Piyungan landfill soil with a depth of 40 cm and carried out by grab sampling. Serial dilution and pour plate methods are used to obtain mushroom isolate, then mushroom purification is carried out. Remediation tests were carried out on fungi isolated on nutrient-minimal media with the addition of lead metal with variations in concentrations of 50 ppm, 100 ppm and 150 ppm, as well as Bromothymol Blue (BTB) solution. Microscopic identification was carried out using lactophenol blue staining. Macroscopic identification is carried out by observing the color, surface shape, and colony shape. Of the eight fungal isolates targeted for lead metal bioremediation, it was found that the eight isolates had the potential to remediate lead metal based on pH changes due to ion bonding that occurred. Fungal isolates 1, 2, 3, 6, 7 and 8 have similarities with the characteristics of Penicillium type fungi, fungal isolate 4 is similar to the characteristics of Monilia type fungi. While the isolates of mushroom 5 are similar to the characteristics of Curvularia type fungi.

Keywords: Bioremediation, Fungus, Lead (Pb), pH, Piyungan Landfill

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	5
<i>ABSTRACT</i>	9
DAFTAR ISI.....	11
DAFTAR TABEL.....	14
DAFTAR GAMBAR.....	16
DAFTAR LAMPIRAN.....	19
BAB I PENDAHULUAN.....	21
1.1 Latar Belakang.....	21
1.2 Rumusan Masalah.....	22
1.3 Tujuan Penelitian.....	22
1.4 Manfaat Penelitian.....	23
1.5 Ruang Lingkup.....	23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	25
2.1 TPA Piyungan.....	25
2.2 Logam Berat Timbal (Pb).....	25
2.3 Bioremediasi.....	26
2.4 Mikroba Jamur (Fungi) dalam Bioremediasi Logam Pb.....	27
2.6 Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.3 Jenis dan Variabel.....	35
3.4 Tahapan Penelitian.....	35
3.5 Metode <i>Sampling</i>	37
3.5.1 Penentuan Titik <i>Sampling</i>	37
3.5.2 Pengambilan Sampel.....	37
3.6 Metode Inokulasi Jamur.....	39
3.6.1 Sterilisasi.....	39
3.6.2 Larutan Logam Timbal (Pb).....	39
3.6.3 Pengenceran Sampel dan Inokulasi Sampel.....	40

3.6.4 Perhitungan Koloni Jamur.....	41
3.6.5 Media Pemurnian Isolat Jamur.....	42
3.6.6 Media Uji Remediasi yang Minim Nutrisi Ditambah Larutan Pb dan <i>Bromothymol Blue</i> (BTB)	43
3.7 Identifikasi Morfologi Jamur	45
3.7.1 Identifikasi Makroskopis.....	45
3.7.2 Identifikasi Mikroskopis	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Isolasi Jamur Dari Sampel Tanah TPA Piyungan	49
4.2 Pemurnian Isolat Jamur.....	49
4.3 Hasil Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Oleh Jamur.....	52
4.3.1 Konsentrasi Timbal 50 ppm.....	52
4.3.2 Konsentrasi Timbal 100 ppm.....	55
4.3.3 Konsentrasi Timbal 150 ppm.....	58
4.3.4 Keseluruhan Isolat Pada Hari Ke 29	61
4.4 Analisa Hasil Bioremediasi Logam Timbal (Pb).....	63
4.5 Morfologi Jamur Secara Makroskopis dan Mikroskopis	67
4.5.1 Isolat 1	67
4.5.2 Isolat 2.....	69
4.5.3 Isolat 3	70
4.5.4 Isolat 4.....	72
4.5.5 Isolat 5.....	74
4.5.6 Isolat 6.....	76
4.5.7 Isolat 7.....	77
4.5.8 Isolat 8.....	79
4.6 Alternatif Bioteknologi Jamur Sebagai Bioremediator Logam Timbal di Lapangan	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	93
RIWAYAT HIDUP.....	100

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daftar Penelitian Terdahulu	29
Tabel 2. Hasil perhitungan nilai TPC.....	49
Tabel 3. Hasil pemurnian isolat jamur	50
Tabel 4. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 50 ppm.....	54
Tabel 5. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 50 ppm.....	55
Tabel 6. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 100 ppm.....	57
Tabel 7. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 100 ppm.....	58
Tabel 8. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 150 ppm.....	60
Tabel 9. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 150 ppm.....	61
Tabel 10. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 1	67
Tabel 11. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 2	69
Tabel 12. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 3	71
Tabel 13. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 4	73
Tabel 14. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 5	74
Tabel 15. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 6	76
Tabel 16. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 7	78
Tabel 17. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 8	80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Denah lokasi sampling di TPA Piyungan	34
Gambar 2. Alur metode penelitian	36
Gambar 3. Alur metode pengambilan sampel.....	38
Gambar 4. Alur metode sterilisasi alat-alat yang digunakan	39
Gambar 5. Alur metode pembuatan larutan logam timbal 200 ppm.....	40
Gambar 6. Alur metode pengenceran sampel dan inokulasi sampel	41
Gambar 7. Alur metode pemurnian isolat jamur.....	43
Gambar 8. Alur metode uji bioremediasi	44
Gambar 9. Morfologi tampak atas	45
Gambar 10. Tekstur koloni jamur	46
Gambar 11. Alur metode identifikasi secara mikroskopis	47
Gambar 12. Hasil bioremediasi timbal 50 ppm oleh kedelapan isolat jamur	53
Gambar 13. Hasil bioremediasi timbal 100 ppm oleh kedelapan isolat jamur	56
Gambar 14. Hasil bioremediasi timbal 150 ppm oleh kedelapan isolat jamur	59
Gambar 15. Hasil bioremediasi kedelapan jamur terhadap keseluruhan konsentrasi Pb pada hari ke 29	62
Gambar 16. (A) Tampak atas isolat 1; (B) Tampak bawah isolat 1; (C) Mikroskopik bentuk jamur Isolat 1; (D) Hifa isolat 1 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	68
Gambar 17. (A) Tampak atas isolat 2; (B) Tampak bawah isolat 2; (C) Mikroskopik isolat 2; (D) Hifa isolat 2 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan Genus; (F) Hifa	70
Gambar 18. (A) Tampak atas isolat 3; (B) Tampak bawah isolat 3; (C) Mikroskopik isolat 3; (D) Hifa isolat 3 (panah menunjukkan speta); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	72
Gambar 19. (A) Tampak atas isolat 4; (B) Tampak bawah isolat 4; (C) Mikroskopik isolat 4; (D) Hifa isolat 4 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	74

Gambar 20. (A) Tampak atas isolat 5; (B) Tampak bawah isolat 5; (C) Mikroskopik isolat 5 (panah menunjukkan konidia); (D) Hifa isolat 5; (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	75
Gambar 21. (A) Tampak atas isolat 6; (B) Tampak bawah isolat 6; (C) Mikroskopik isolat 6; (D) Hifa isolat 6 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	77
Gambar 22. (A) Tampak atas isolat 7; (B) Tampak bawah isolat 7; (C) Mikroskopik isolat 7; (D) Hifa isolat 7 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	79
Gambar 23. (A) Tampak atas isolat 8; (B) Tampak bawah isolat 8; (C) Mikroskopik isolat 8; (D) Hifa isolat 8 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Isolasi Jamur Dari TPA Piyungan.....	93
Lampiran 2. Perhitungan Kebutuhan $Pb(NO_3)_2$	97
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Jumlah dan Diameter Koloni Isolat Jamur.....	98

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat merupakan masalah lingkungan yang penting karena dampak yang ditimbulkan bagi makhluk hidup terbilang besar. Salah satu logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi adalah timbal (Pb). Masuknya timbal (Pb) ke dalam tubuh manusia melalui air minum, makanan, atau udara dapat menyebabkan gangguan pada organ seperti gangguan neurologi (syaraf), ginjal, sistem reproduksi, sistem hemopoitik serta sistem syaraf pusat (otak) terutama pada anak yang dapat menurunkan tingkat kecerdasan (Maria, 2000).

Banyak upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat. Secara umum pengolahan limbah logam berat termasuk timbal (Pb) dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu secara kimia, fisika, biologi, atau kombinasi ketiga cara tersebut. Upaya pengurangan logam berat antara lain: reduksi flokulasi, filtrasi membran, presipitasi, elektrokimia, filtrasi, dan reverse osmosis. Sebagian besar metode ini memerlukan biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang tinggi serta menghasilkan lumpur beracun (Meitiniarti dkk, 2014).

Pengembangan metode pengolahan limbah yang lebih efektif, efisien dan ramah lingkungan terus diupayakan seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat untuk memperbaiki kualitas atau kondisi lingkungan. Penggunaan agen hayati berupa tumbuhan atau mikroorganisme untuk memperbaiki kualitas lingkungan terus dikembangkan. Bioremediasi mulai diterapkan untuk mengatasi pencemaran oleh limbah berbahaya atau limbah yang mengandung logam berat. Bioremediasi merupakan pemanfaatan mikroorganisme yang akan digunakan untuk menurunkan kadar suatu polutan dengan menumbuhkan mikroorganisme tersebut pada polutan (Priadie, 2018).

Mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai bioremediator salah satunya adalah jamur. Dengan kondisi TPA Piyungan yang sudah melebihi kapasitas

dengan sistem *Sanitary Landfill*, dapat tumbuh beberapa mikroorganisme seperti jamur di dalam tanah yang tumbuh menyesuaikan dengan kondisi lingkungannya. Pada kondisi TPA yang melebihi kapasitas, air lindi yang dihasilkan dapat mencemari tanah di lingkungan tersebut jika tidak terolah dengan baik. Sudah banyak penelitian dilakukan untuk menguji mikroorganisme sebagai bioremediator logam berat. Dari penelitian tersebut dihasilkan bahwa mikroorganisme mempunyai kemampuan menurunkan kandungan logam berat. Hasil penelitian terdahulu, isolat fungi *Trichoderma harzianum* (Th), *Aspergillus niger* (An), dan *Trichoderma viride* (Tv) mampu tumbuh dalam medium yang mengandung logam berat Pb dan Cd (Suderajat & Mulyana, 2017). Dari penelitian Lubis, spora *Mucor hiemalis* mampu meremediasi berbagai jenis metal. Isolat tersebut mampu menghilangkan Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U hingga >81-99% (Lubis, 2019).

Dalam penelitian ini akan dipelajari mengenai proses remediasi logam timbal (Pb) pada limbah cair oleh jamur *indigenous* di TPA Piyungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu memberi informasi dalam proses pengolahan limbah cair dengan memanfaatkan mikroorganisme di TPA Piyungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang yang telah dibuat, dapat ditarik rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Apakah Jenis jamur yang teridentifikasi pada sampel tanah dari TPA Piyungan?
2. Apakah jamur *indigenous* di TPA Piyungan berpotensi sebagai bioremediator logam berat timbal (Pb)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jenis jamur yang teridentifikasi pada sampel tanah dari TPA Piyungan.

2. Mengetahui potensi mikroba jamur *indigenous* di TPA Piyungan sebagai bioremediator logam timbal (Pb).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi pembelajaran, khususnya mengenai jamur yang dimanfaatkan sebagai bioremediator logam berat timbal (Pb) pada limbah cair.
2. Sebagai informasi mengenai potensi jamur *indigenous* di TPA Piyungan untuk bioremediasi logam berat timbal (Pb).
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya dibidang yang sama.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi:

1. Lokasi pengambilan sampel jamur *indigenous* di TPA Piyungan.
2. Penggunaan jamur *indigenous* sebagai bioremediator logam timbal (Pb).
3. Logam berat timbal (Pb) sebagai sasaran remediasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TPA Piyungan

TPA Piyungan merupakan tempat pembuangan akhir yang berlokasi di Kabupaten Bantul yang kini dalam kondisi melebihi kapasitas (*over capacity*) (Bantulpedia, 2023). Meskipun dalam kondisi tersebut, TPA Piyungan masih aktif digunakan karena belum terdapat lokasi baru yang dapat digunakan sebagai lahan TPA (DLHK DIY, 2019). Hal tersebut dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Pencemaran yang memungkinkan terjadi berasal dari air lindi yang dihasilkan dari tumpukan sampah yang ada. Air lindi tersebut dapat menyerap ke dalam tanah dan mencemari air tanah di sekitar lokasi TPA. Tanah yang tercemar logam berat dari rembesan air lindi dapat menjadi tempat hidup untuk mikroba. Mikroba tersebut dapat dikatakan sebagai mikroba *indigenous* atau mikroba yang hidup secara alami di dalam tanah TPA. Salah satu mikroba tersebut yang dapat dimanfaatkan sebagai bioremediator untuk limbah cair mengandung logam adalah jamur *indigenous*.

2.2 Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal atau dikenal sebagai logam Pb dalam susunan unsur merupakan logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami. Terdapat beberapa air limbah yang mengandung logam berat termasuk golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), dan telah menjadi isu lingkungan yang menyita perhatian banyak pihak mengingat dampak yang ditimbulkan berakibat buruk bagi makhluk hidup (Said, 2010). Beberapa industri yang menghasilkan limbah cair mengandung logam timbal (Pb) adalah industri baterai, tekstil, pestisida, keramik, dan lainnya. Logam timbal (Pb) termasuk logam berat yang dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3). Selain dari industri, air limbah yang mengandung timbal (Pb) dapat berasal dari tumpukan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Apabila

toksisitas logam timbal (Pb) dikonsumsi pada anak-anak dalam masa kecil dan berlangsung secara terus-menerus, maka akan menyebabkan neorotoksik (keracunan pada saraf) dan kelainan tingkah laku. Toksisitas pada timbal (Pb) terjadi apabila dalam darah ditemukan kandungan Pb $\geq 0,08$ gram% atau dalam urin $\geq 0,15$ gram% (Darmono, 2001).

Dari proses penimbunan sampah yang dilakukan secara terus-menerus di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) menghasilkan bahan pencemar berupa air lindi (*leachate*). Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut (Anilkumar *et al.*, 2015). Air lindi pada umumnya mengandung senyawa organik dan senyawa anorganik (logam berat) yang tinggi (Fard *et al.*, 2017). Air lindi dari TPA berpotensi mengandung beberapa logam berat, salah satunya adalah timbal (Pb). Sumber Pb dalam air lindi berasal dari kegiatan manusia serta memiliki hubungan yang signifikan dengan COD, minyak dan lemak (Ogundiran & Afolabi, 2008).

2.3 Bioremediasi

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam pengendalian pencemaran. Bioremediasi merupakan pemanfaatan mikroorganisme yang akan digunakan untuk menurunkan kadar suatu polutan dengan menumbuhkan mikroorganisme tersebut pada polutan (Priadie, 2018). Mikroorganisme yang mampu melakukan remediasi logam berat diantaranya adalah bakteri (*Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, dan *Escherichia coli*); kapang (*Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus stolonifer*, dan *Aspergillus oryzae*), dan khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) (Suhendrayatna, 2001).

Bioremediasi merupakan salah satu metode yang cukup menjanjikan, karena sederhana, hemat biaya, dan ramah lingkungan untuk mengubah polutan beracun menjadi produk yang ramah lingkungan dibandingkan dengan metode fisika atau kimia lainnya (Desmukh *et al.*, 2016). Bioremediasi dapat dilakukan

dengan menggunakan bakteri, jamur, protozoa, maupun mikroalga. Bioremediasi oleh jamur dilakukan dengan melibatkan mekanisme reduksinya, baik secara intraselular maupun ekstraselular (Kurniawan & Ekowati, 2016). *Aspergillus* merupakan salah satu jamur yang memiliki kemampuan untuk menurunkan konsentrasi logam berat (Congeevaram *et al.*, 2006). Dalam penelitiannya, Jalili *et al.*, berhasil menumbuhkan jamur *Aspergillus fumigatus* dari tanah yang terkontaminasi limbah tambang emas dan dibudidayakan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA). Jamur tersebut dapat menurunkan kandungan logam berat As, Fe, Mn, Pb, dan Zn. *Aspergillus fumigatus* mampu menghasilkan asam oksalat dan sitrat yang mampu menyisihkan logam Pb dari tanah yang terkontaminasi logam berat (Jalili *et al.*, 2012).

2.4 Mikroba Jamur (Fungi) dalam Bioremediasi Logam Pb

Prinsip dari bioremediasi mikroba adalah memanfaatkan proses biologis yang terdapat dalam tubuh mikroba untuk mentransfer atau merubah logam berat di area yang terkontaminasi menjadi bahan yang tidak berbahaya (Ayangbenro & Babalola, 2017). Mikroba yang dapat digunakan sebagai bioremediator diantaranya adalah bakteri, jamur, dan protozoa. Mikroorganisme dapat mengikat ion logam berat melalui gugus fungsinya dan menggunakan reaksi redoks untuk mengubah logam berat dari bentuk kompleks menjadi bentuk sederhana, sehingga secara efektif mengurangi toksisitas ion logam berat (Yina *et al.*, 2019). Mekanisme mikroorganisme dalam proses bioremediasi meliputi bioakumulasi, biomineralisasi, biosorpsi dan biotransformasi. (Ayangbenro & Babalola, 2017).

Beberapa faktor dapat mempengaruhi dan membatasi efisiensi bioremediasi, antara lain suhu, pH, potensi redoks, nutrisi dalam media pertumbuhan, kelembaban, dan komposisi kimia logam berat. Keasaman (pH) mempunyai dampak yang kuat terhadap aktivitas mikroba dalam mengolah limbah logam berat (Ayangbenro & Babalola, 2017). Nilai pH medium juga mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan biologis nutrisi, logam dan komponen

lainnya. Selain itu, nilai pH merupakan faktor utama yang mempengaruhi adsorpsi sehingga mempengaruhi efektivitas bioremediasi timbal. (Ebrahim *et al.*, 2021).

Jamur mendegradasi senyawa polutan logam berat melalui enzim degradatif yang disekresikan oleh miselium, dan proses biodegradasi (penguraian) terjadi di luar sel jamur, sehingga ukuran molekul dan toksisitas polutan dapat diabaikan (Ahmad, 2018). Jamur dapat mengeluarkan beberapa enzim, seperti asam organik, asam amino, dan berbagai metabolit untuk melarutkan mineral yang mengandung logam berat (Hesham *et al.*, 2021). Spesies jamur yang dapat berpotensi untuk mendegradasi limbah banyak berasal dari kelas *Basidiomycetes* dan *Ascomycetes* (Gupta, 2014). Beberapa contoh spesies jamur dari kelas *Ascomycetes* yang sudah diteliti dan digunakan untuk meremediasi adalah *Aspergillus flavus*, *Fusarium solani*, *Penicillium chrysogenum*, dan *Saccharomyces cerevisiae* (Iram *et al.*, 2014). Sedangkan spesies dari kelas *Basidiomycetes* ada *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, jamur penyebab busuk putih (*White Rot Fungi*) seperti *Phanerochaete chrysosporium*, dan jamur penyebab busuk coklat (*Brown Rot Fungi*) (Gupta, 2014). Pada salah satu penelitian menemukan bahwa jamur *Pleurotus ostreatus* dapat menyisihkan beberapa logam berat salah satunya timbal (Pb) dari limbah pencucian batubara. Terjadi peningkatan konsentrasi protein metallothionein, peroksidasi lipid, dan aktivitas enzim antioksidan miselium akibat akumulasi dengan logam tersebut, sehingga meningkatkan toleransi jamur terhadap toksisitas logam tersebut (Vaseem *et al.*, 2017).

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang pernah dilakukan mengenai bioremediasi logam timbal (Pb) dengan jamur dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Daftar Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Noverita, 2021	Biosorpsi Enam Spesies Jamur Makro Sumatera Barat Terhadap Logam Timbal (Pb)	<p>Pertumbuhan enam isolat makrojamur pada media <i>Potato Dextrose Broth</i> (PDB) yang mengandung timbal mampu menurunkan konsentrasi timbal sebagai fungsi waktu inkubasi.</p> <p>Berdasarkan kemampuan biomassa dalam mengadsorpsi logam timbal, <i>Pleurotus sp</i> (PL-1) dan <i>Trametes sp</i> (T-3) merupakan isolat yang paling berpotensi sebagai biosorben (Noverita, 2021).</p>
2	Sudrajat, D., Mulyana, N. 2017	Iradiasi Sinar Gamma Dosis Rendah untuk Meningkatkan Kemampuan Fungi Dalam Mereduksi Logam Berat Pb dan Cd	<p>Isolat jamur <i>Trichoderma harzianum</i> (Th), <i>Aspergillus niger</i> (An), dan <i>Trichoderma viride</i> (Tv) mampu tumbuh pada media yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Setelah dikultur selama 10 hari dengan iradiasi sinar gamma dengan dosis 250 Gy, bobot kering sel, kapasitas reduksi logam berat Pb dan Cd, serta aktivitas selulase ketiga strain</p>

			mengalami peningkatan (Suderajat & Mulyana, 2017).
3	Kurniawan, A., Ekowati, N., 2016	Review: Mikoremediasi Logam Berat	<p>Kemampuan mikroorganismen dalam beradaptasi terhadap lingkungan ekstrim, khususnya pencemaran logam berat, telah banyak dipelajari dan diterapkan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Berbagai jenis mikroorganismen termasuk jamur dan mekanisme reduksi yang dimiliki oleh mikroorganismen tersebut dapat digunakan untuk mengendalikan pencemaran lingkungan khususnya pencemaran logam berat.</p> <p>Mikoremediasi dapat menjadi alat untuk memulihkan kualitas lingkungan dengan lebih baik, menjadikannya lebih produktif dan aman, mampu memberikan jaminan kesehatan bagi berbagai organisme yang bergantung padanya, dan lingkungan berkelanjutan yang dapat dikelola lebih lanjut.</p> <p>(Kurniawan & Ekowati, 2016).</p>

4	Lubis, S.S. 2019	Bioremediasi Logam Berat Oleh Fungi Laut	Fungi laut memiliki peranan penting dalam bioremediasi air limbah dan tanah yang terkontaminasi logam berat. Spora <i>Mucor hiemalis</i> mampu meremediasi berbagai jenis metal. Isolat tersebut mampu menghilangkan Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U hingga > 81-99%. Genus <i>Aspergillus</i> dan <i>Penicillium</i> yang diisolasi air laut dan sedimen menunjukkan kapasitas penyerapan Cd yang cukup signifikan pada media Potato Dextrosa Agar yang mengandung Cd dengan konsentrasi 25, 50, 75, dan 100 ppm, efisiensi penyerapan <i>Penicillium</i> sekitar 11,46%, <i>Aspergillus</i> sekitar 10-13,87% (Lubis, 2019).
---	---------------------	--	--

Kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi dengan lingkungan ekstrim seperti akibat cemaran logam telah banyak diteliti dan diaplikasikan untuk mereduksi kontaminan tersebut. mikoremediasi dapat menjadi salah satu cara untuk mengembalikan kualitas lingkungan agar menjadi lebih baik (Kurniawan & Ekowati, 2016). Pada penelitian Noverita (2021) didapatkan bahwa terdapat enam jamur makro yang dapat menurunkan konsentrasi timbal. Sedangkan pada penelitian Sudrajat dan Mulyana (2017), isolat fungi *Trichoderma harzianum* (Th), *Aspergillus niger* (An), dan *Trichoderma viride* (Tv) mampu tumbuh dalam

medium yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Selain itu, spora *Mucor hiemalis* mampu meremediasi berbagai jenis logam berat. Isolat tersebut mampu menghilangkan Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U hingga > 81-99% (Lubis, 2019).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

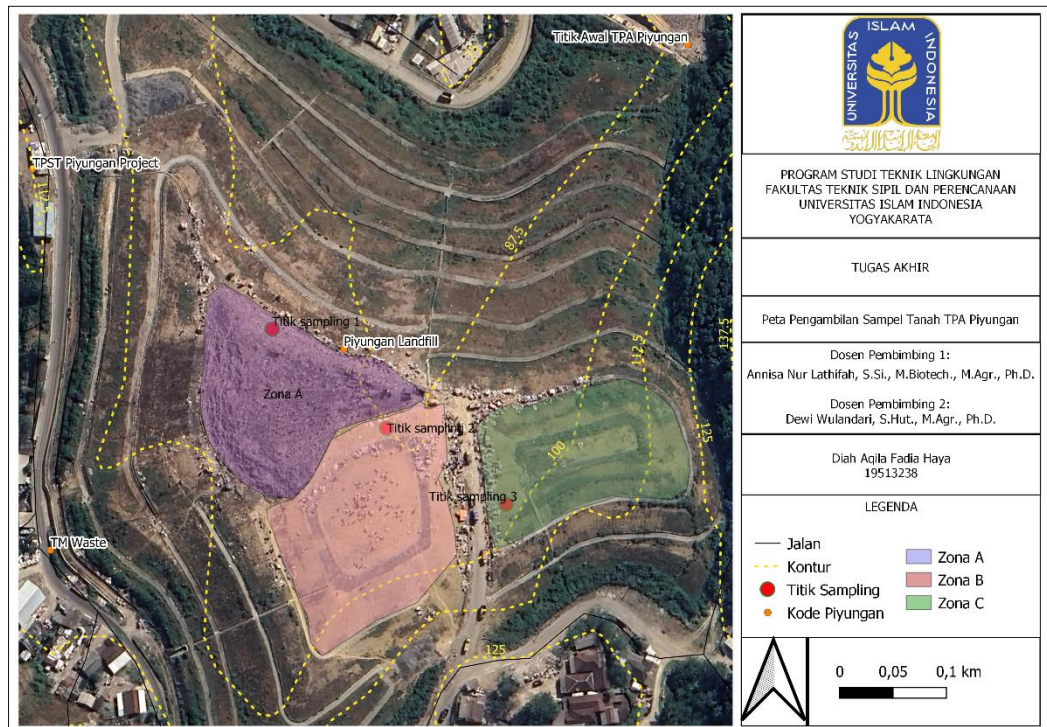
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dimulai dari bulan Maret 2023 hingga September 2023 di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi pengambilan sampel tanah untuk mendapatkan jamur berada di TPA Piyungan, Desa Ngablak, Kecamatan Piyungan, Daerah Istimewa Yogyakarta. Berikut merupakan titik koordinat serta peta lokasi (Gambar 1) 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



Gambar 1. Denah lokasi sampling di TPA Piyungan

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini membutuhkan alat dan bahan untuk mendukung berjalannya proses penelitian. Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian diantaranya bor tanah, meteran, sekop, penggaris 30 cm, plastik klip ½ Kg, kertas label, pipet dan karet penghisap, Bunsen, cawan petri, kertas cokelat, Erlenmeyer, tabung reaksi, rak tabung reaksi, jarum ose, *cooler box*, masker, sarung tangan, kapas pembalut, alat penghitung koloni, *autoclave*, *incubator*, *magnetic stirrer*, timbangan, gelas beaker, *scalpel* dan pisau. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan meliputi sampel tanah di TPA Piyungan, serbuk $Pb(NO_3)_2$, aquades, *Malt Extract Agar (MEA)*, *Lactophenol Cotton Blue (LCB)*, *Bromothymol Blue (BTB)*.

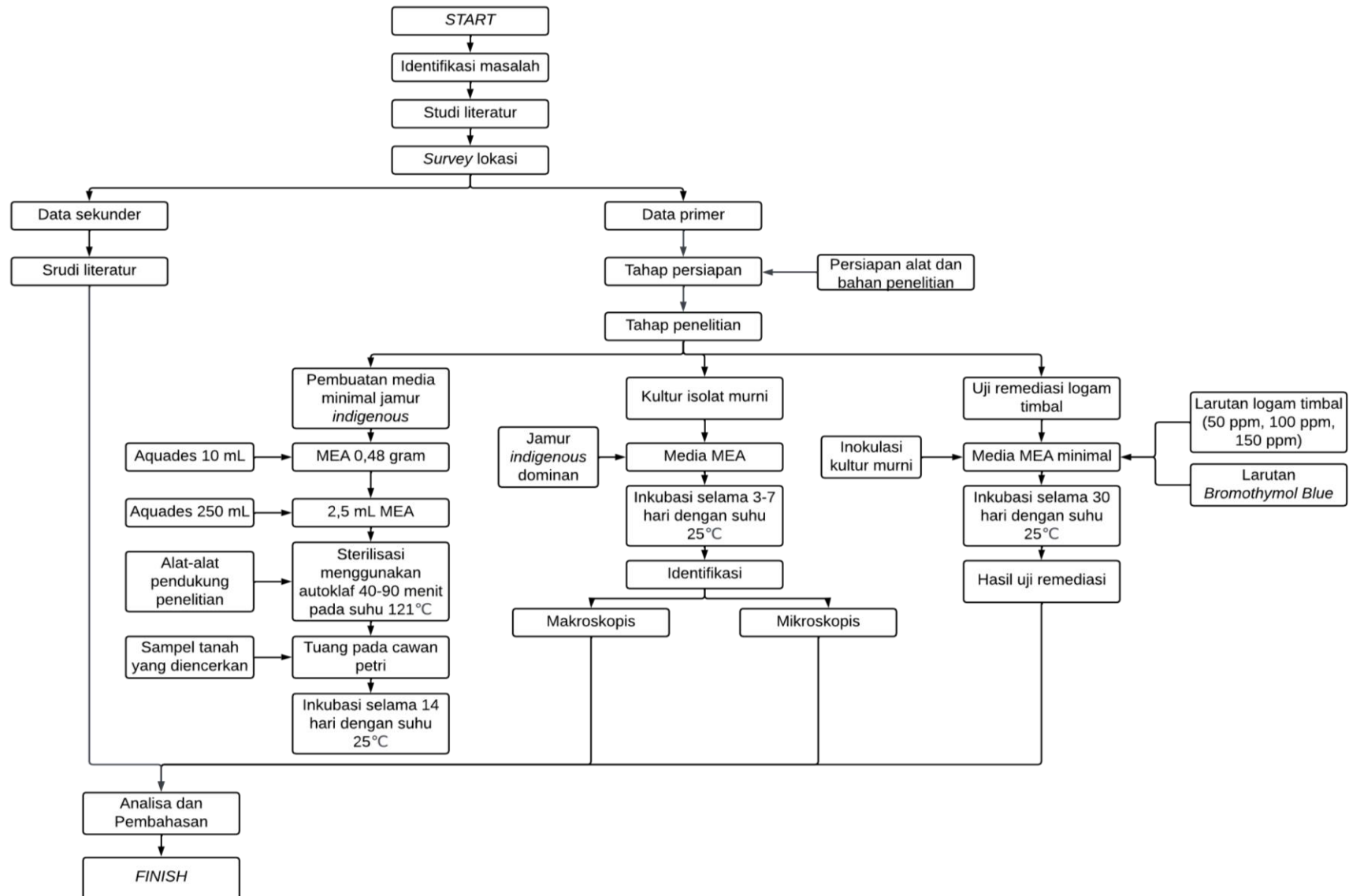
3.3 Jenis dan Variabel

Terdapat dua variable yang ditetapkan dan ditinjau dalam penelitian ini, meliputi:

1. Variabel bebas: Jamur *indigenus* TPA Piyungan
2. Variabel terikat: Limbah cair yang mengandung logam timbal (Pb)

3.4 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Alur metode penelitian

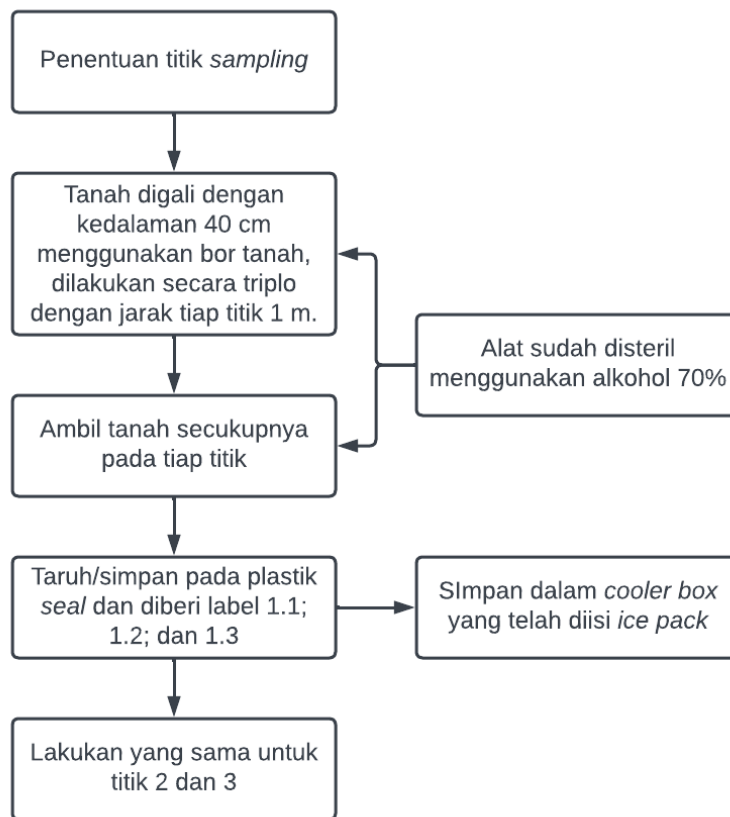
3.5 Metode *Sampling*

3.5.1 Penentuan Titik *Sampling*

Penelitian ini akan dilakukan di TPA Piyungan dengan titik *sampling* sebanyak 3 titik, dimasing-masing titik diambil 3 titik yang berbeda pada bagian tanah yang memiliki umur sampah 1-3 tahun. Penentuan titik tersebut dilihat dan ditentukan dengan berkoordinasi dengan pihak pengelola TPA Piyungan yang memahami zona atau blok umur timbunan sampah. Pertimbangan dalam menentukan titik tersebut adalah tempat atau zona tersebut merupakan daerah yang dapat mewakili kondisi dari TPA Piyungan.

3.5.2 Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel tanah ini dilakukan secara komposit untuk mendapatkan jamur *indigenous* di areal tersebut. Sampel tanah komposit merupakan sampel tanah yang didapatkan dari beberapa titik berbeda dengan kedalaman yang sama (Ekamaida, 2017). Pengambilan tanah secara komposit dilakukan dengan cara acak sebanyak 3 buah titik pada tiap titik utama dengan kedalaman yang sama yaitu 40 cm dan berjarak 1 m, jadi terdapat 9 titik *sampling*. Menurut data pengamatan yang dilakukan dengan wawancara oleh petugas, daerah lokasi pengambilan sampel telah ditimbun tanah urugan sedalam 15 cm. oleh karena itu, untuk mengambil tanah *top soil* yang mengandung materi organik, berwarna cokelat gelap, subur dan memiliki ketebalan 25 cm (Ariyanto, 2009) perlu dilakukan pengambilan tanah hingga 40 cm. Sampel yang telah diambil kemudian disimpan dalam plastik klip yang diberi label dan dimasukkan dalam *cooler box* agar kualitas sampel tetap terjaga. Alur metode pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



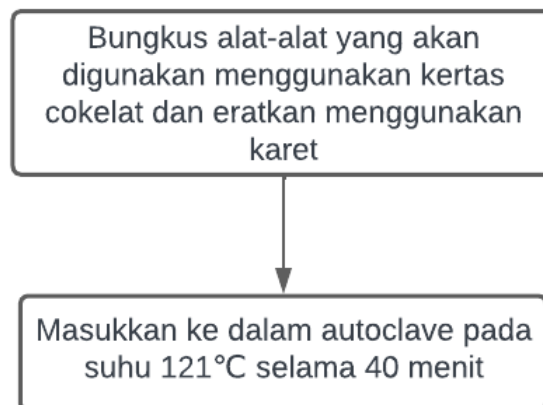
Gambar 3. Alur metode pengambilan sampel

Cuaca pada saat awal pengambilan sampel tanah dalam kondisi cerah, namun beberapa waktu setelahnya turun hujan dan kemudian cerah kembali. Titik *sampling* 1 memiliki kondisi tanah yang sudah ditumbuhi rumput di permukaannya dan tanah cukup keras pada saat pengambilan menggunakan bor tanah. Pada titik *sampling* 2, permukaan tanah belum ditumbuhi rumput dan berada dekat dengan aliran lindi, serta terdapat potongan sampah di permukaannya. Selain itu, tanah yang ada di titik *sampling* 2 ini memiliki tekstur yang lengket dan diambil setelah hujan. Sedangkan titik *sampling* 3, kondisi permukaan tanahnya tidak ditumbuhi tumbuhan dan teksur tanahnya cukup lebur dibandingkan 2 titik *sampling* yang lain.

3.6 Metode Inokulasi Jamur

3.6.1 Sterilisasi

Sebelum melakukan penelitian lebih lanjut, perlu dilakukannya sterilisasi terhadap alat-alat yang akan digunakan. Metode yang akan digunakan adalah sterilisasi sistem basah menggunakan *autoclave*. *Autoclave* biasanya sterilisasi dengan tekanan bersaturasi. Siklus (*cycle*) dari *autoclave* yang menjamin proses sterilisasi didalam *autoclave* menjadi efektif, diantaranya 3 menit pada suhu 134°C; 10 menit pada suhu 126°C; 15 menit pada suhu 121°C; 25 menit pada suhu 115°C (Zahid, 2010). Pada penelitian ini, alat-alat yang akan digunakan dibungkus dengan kertas cokelat lalu diertatkan menggunakan karet yang kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* pada suhu 121°C selama 40 menit. Alur metode sterilisasi alat dan bahan yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.

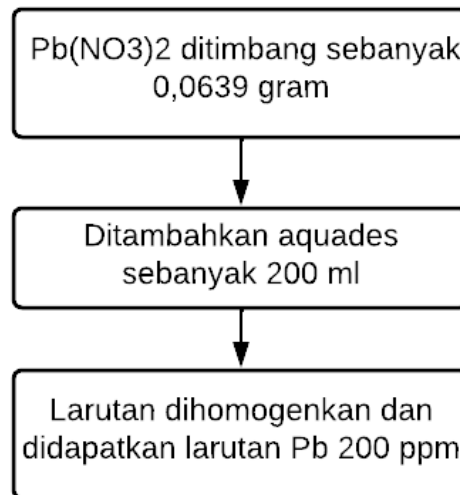


Gambar 4. Alur metode sterilisasi alat-alat yang digunakan

3.6.2 Larutan Logam Timbal (Pb)

Pada penelitian terdahulu, pembuatan larutan logam timbal (Pb) dapat dilakukan menggunakan 0,0239 gram serbuk Timbal (II) Nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) dilarutkan dalam 150 ml aquades, sehingga diperoleh larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 100 ppm (Male *et al.*, 2020). Pada penelitian ini akan menggunakan 0,0639 gram serbuk Timbal (II) Nitrat

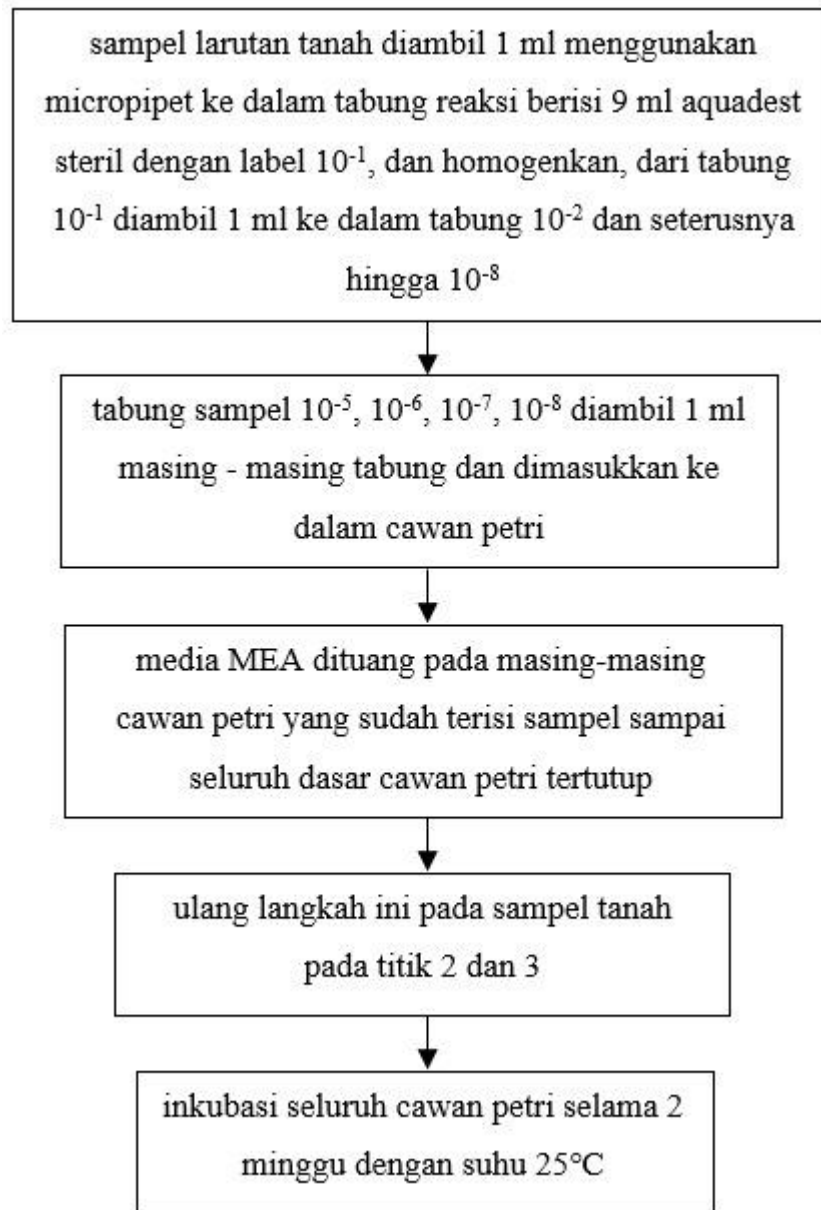
($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) dilarutkan dalam 200 ml aquades, sehingga diperoleh larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 200 ppm. Alur metode pembuatan larutan logam timbal dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Alur metode pembuatan larutan logam timbal 200 ppm

3.6.3 Pengenceran Sampel dan Inokulasi Sampel

Sampel yang didapat dari masing-masing titik dihomogenkan dalam sebuah wadah. Sebanyak 5 gram sampel tanah dilarutkan dengan 45 ml aquades steril. Setiap sampel tanah akan dilakukan pengenceran hingga 10^{-8} . Setelah itu, larutan sampel dari pengenceran 10^{-5} – 10^{-8} diinokulasikan ke media menggunakan metode *pour plate* (Yasanto, 2020). Media yang digunakan untuk inokulasi sampel 1,2 gram *Malt Extract Agar* (MEA); 3,75 gram *agar bacteriological* yang dihomogenkan dengan aquades hingga 250 ml. Media tersebut disterilkan dalam autoklaf selama 30-40 menit pada suhu 121°C . Selanjutnya, sampel dan media tersebut diinkubasi selama 14 hari dengan suhu 25°C . Alur metode pengenceran dan inokulasi sampel dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Alur metode pengenceran sampel dan inokulasi sampel

3.6.4 Perhitungan Koloni Jamur

Analisis data untuk densitas koloni jamur dari isolat jamur yang telah diinkubasi selama ± 14 hari dalam media *Malt Extract Agar* (MEA) dan dilakukan perhitungan koloni jamur menggunakan *Total Plate Count* (TPC). Perhitungan koloni jamur dilakukan pada cawan petri yang berisi media dan larutan sampel dengan pengenceran $10^{-5} - 10^{-8}$.

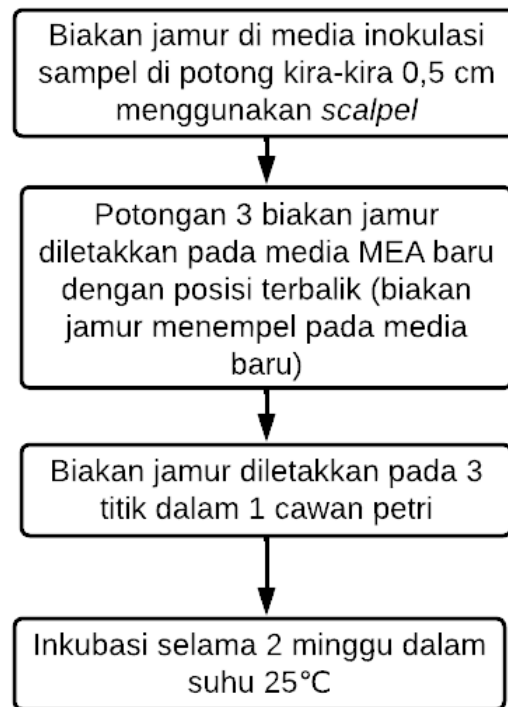
Hasil dari perhitungan tersebut akan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total koloni} = \text{jumlah koloni} \times \frac{1}{\text{pengenceran}}$$

Perhitungan jumlah koloni jamur dalam buku *Brock Biology of Microorganisms* (Madigan *et al.*, 2012) memiliki rentang 30-300 koloni. Terdapat tiga syarat untuk perhitungan jumlah koloni. Pertama, koloni spreader tidak terhitung atau 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 pengulangan, maka jumlah koloni direrata.

3.6.5 Media Pemurnian Isolat Jamur

Media yang digunakan untuk pertumbuhan jamur adalah *Malt Extract Agar* (MEA). MEA umumnya digunakan untuk mengisolasi ragi dan kapang dari sampel klinis dan berbagai sumber lingkungan. Pada tahun 1926, Thom dan Church merekomendasikan penggunaan MEA dalam metode pertumbuhan jamur dan ragi karena mengandung sumber karbon, protein, dan nutrisi lainnya (Rheisa, 2021). Berdasarkan petunjuk yang tertera pada kemasan media, dalam 1000 ml aquades diperlukan MEA sebanyak 48 gram. Dalam penelitian ini akan dibuat larutan media minimal sebanyak 500 ml, sehingga MEA yang akan digunakan sebanyak 2,4 gram. Larutan tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Setelah itu, media disterilkan dalam *autoclave* bersuhu 121°C selama 30 menit – 40 menit. Kemudian dilakukan kultur jamur yang diambil dari inokulasi sampel awal. Inkubasi dilakukan selama ± 2 minggu dalam suhu 25°C. Alur metode pemurnian isolat jamur dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini.

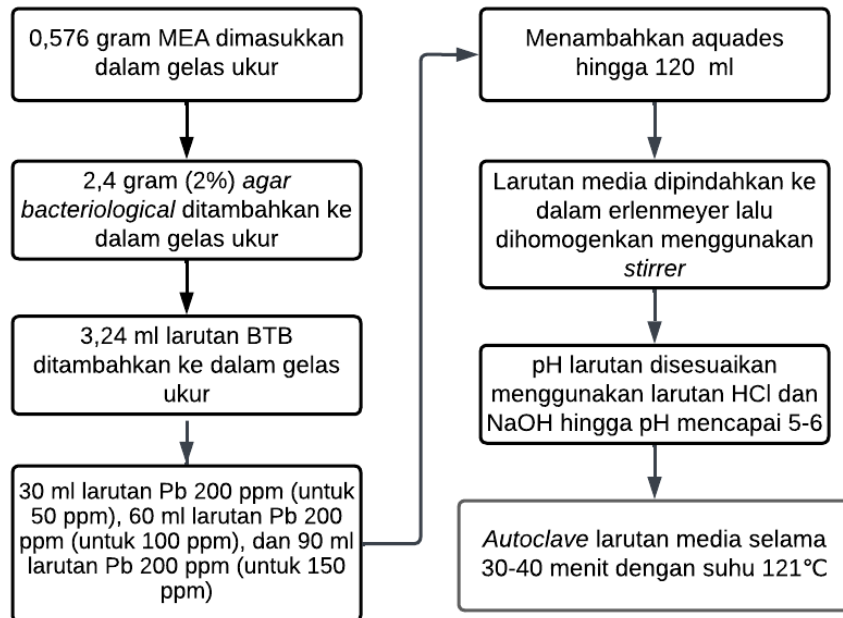


Gambar 7. Alur metode pemurnian isolat jamur

3.6.6 Media Uji Remediasi yang Minim Nutrisi Ditambah Larutan Pb dan *Bromothymol Blue* (BTB)

Media yang digunakan untuk uji remediasi adalah media minim nutrisi dengan modifikasi penambahan larutan Pb dan *bromothymol blue* (BTB). Media remediasi yang akan dibuat sebanyak 3 konsentrasi logam Pb (50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm). Setiap larutan tersebut dibuat sebanyak 120 ml dengan komposisi 0,576 gram MEA; 2,4 gram *agar bacteriological*; 30 ml larutan Pb 200 ppm (untuk 50 ppm), 60 ml larutan Pb 200 ppm (untuk 100 ppm), dan 90 ml larutan Pb 200 ppm (untuk 150 ppm); 0,3 ml larutan BTB dengan KOH; aquades. Semua bahan tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen dan sesuaikan hingga mencapai pH 5-6. Setelah itu, sterilkan media dalam autoklaf 30-40 menit dengan suhu 121°C. Kemudian dilakukan kultur jamur yang diambil dari pemurnian isolat jamur. Penggunaan *bromothymol blue* untuk melihat perubahan warna pada media selama

masa remediasi pernah dilakukan oleh Junior dkk (2020). Alur metode untuk uji bioremediasi dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini.



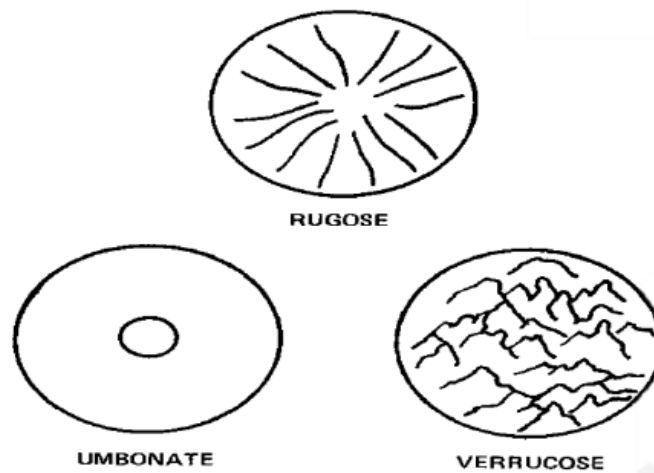
Gambar 8. Alur metode uji bioremediasi

Penggunaan 3 variasi konsentrasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan jamur dalam meremediasi logam timbal dengan media yang minim nutrisi dan konsentrasi logam timbal yang berbeda. Penentuan variasi konsentrasi timbal dilakukan dengan melihat rata-rata konsentrasi timbal pada penelitian terdahulu, serta mengacu pada baku mutu yang ada. Pada penelitian terdahulu, didapatkan kandungan Pb yang terdapat dalam tanah TPA Piyungan rata-rata sebesar 42,13 ppm (Chalid, 2022). Dari nilai baku mutu timbal dalam tanah yang ditemukan, variasi konsentrasi yang digunakan untuk uji remediasi adalah satu tingkat di bawah baku mutu (50 ppm), baku mutu (100 ppm), dan satu tingkat di atas baku mutu (150 ppm).

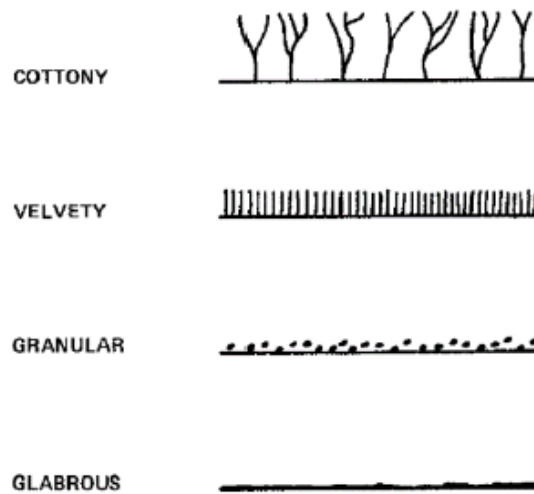
3.7 Identifikasi Morfologi Jamur

3.7.1 Identifikasi Makroskopis

Identifikasi jamur secara makroskopis dilakukan dengan memperhatikan bentuk jamur pada permukaan atas dan bawah (*reverse slide*), ukuran koloni, bentuk tepi koloni, tekstur permukaan, garis radial dari pusat koloni ke tepi, kenampakan lingkaran konsentris, pola pertumbuhan jamur dan keberadaan tetes eksudat pada jamur (Wardani, 2021). Kenampakan makroskopis jamur dapat dilihat pada gambar 9 dan 10.



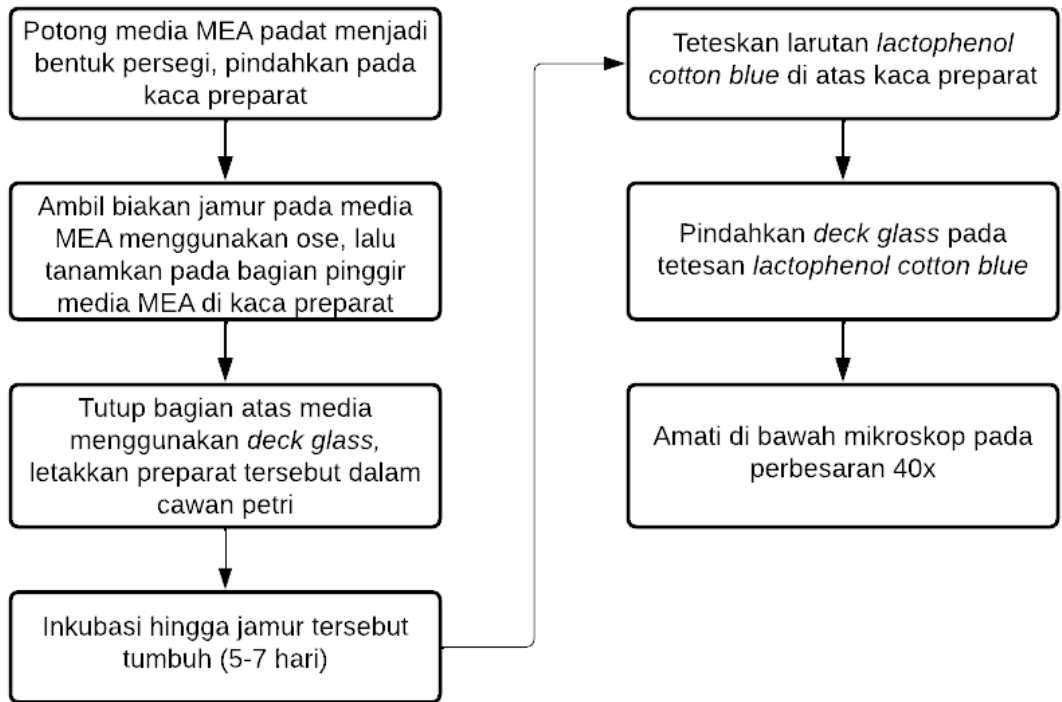
Gambar 9. Morfologi tampak atas
Sumber: Chourasia, 2008



Gambar 10. Tekstur koloni jamur
 Sumber: Chourasia, 2008

3.7.2 Identifikasi Mikroskopis

Identifikasi secara mikroskopis dilakukan menggunakan metode *slide culture* dengan cara koloni jamur dalam jumlah kecil ($\pm 0,3 \text{ cm}^2$) ditaruh di atas permukaan *object glass* lalu ditutup menggunakan *cover glass*. Setelah itu, siapkan kertas saring/tisu yang dibasahi aquades steril yang diletakkan pada cawan petri untuk mempertahankan kelembapan *slide culture*. Dilakukan inkubasi selama 24-72 jam pada suhu ruang dan *slide culture* siap diamati secara mikroskopis. Perlu ditambahkan reagen *lactophenol cotton blue* yang memudahkan pengamatan terhadap jamur (Desmukh *et al.*, 2016). Setelah itu, *slide culture* diamati hingga menunjukkan sktrutur jamur seperti struktur hifa dan struktur reproduksi. Alur metode identifikasi jamur secara mikroskopis dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Alur metode identifikasi secara mikroskopis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Isolasi Jamur Dari Sampel Tanah TPA Piyungan

Isolasi jamur dari sampel tanah TPA Piyungan menggunakan pengenceran 10^{-5} - 10^{-8} . Isolasi jamur tersebut dilakukan secara duplo dan berhasil ditumbuhkan pada media *Malt Extract Agar* (MEA). Dari hasil isolasi jamur yang telah dilakukan dan telah dihitung jumlah koloni yang tumbuh. Sesuai dengan syarat perhitungan jumlah koloni dalam buku *Brock Biology of Microorganisms* (Madigan *et al.*, 2012) pada syarat yang kedua, didapatkan nilai TPC yang tersaji dalam tabel 2.


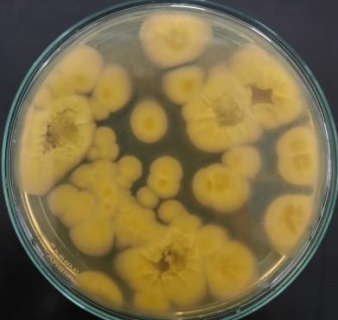



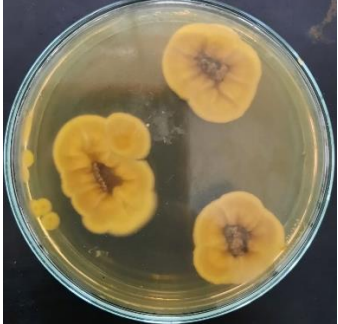


Tabel 2. Hasil perhitungan nilai TPC

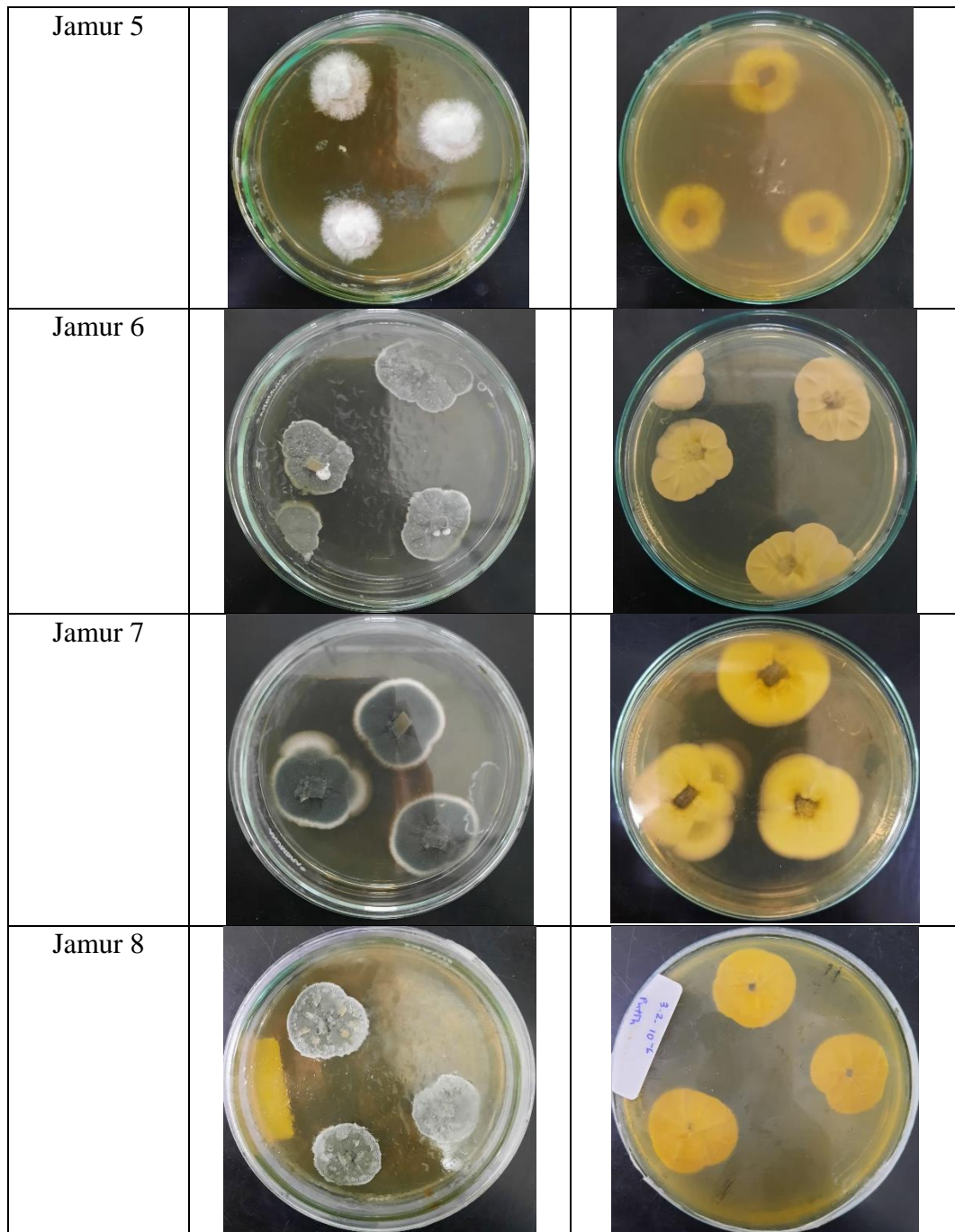
Titik Sampel	Nilai TPC
Titik 1	$121,5 \times 10^8$ CFU/ml
Titik 2	139×10^8 CFU/ml
Titik 3	41×10^8 CFU/ml

4.2 Pemurnian Isolat Jamur

Keberhasilan isolasi jamur asli dari sampel tanah di TPA Piyungan, Yogyakarta. Sampel tanah yang dikumpulkan dari TPA Piyungan merupakan tanah dengan umur pembuangan 1-3 tahun. Kondisi lahannya banyak sampah yang tidak terawat. Dari hasil pemurnian diperoleh 8 isolat jamur dengan kenampakan makroskopis berbeda. Isolat jamur tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pemurnian isolat jamur

Isolat	Tampak Atas	Tampak Bawah
Jamur 1		
Jamur 2		
Jamur 3		
Jamur 4		



Sumber: Dokumen Pribadi

Senyawa logam yang berasal dari sampah-sampah yang ada di TPA cenderung akan terakumulasi di tanah dan air. Pada kondisi lingkungan TPA Piyungan yang ekstrim ini, jamur mampu bertahan hidup. Jamur merupakan organisme yang memiliki potensi dan ideal untuk mengurangi atau menghilangkan logam berat, karena merupakan pengurai alami dan menghasilkan beberapa enzim

ligninolitik ekstraseluler yang mampu menguraikan lignin dan selulosa (Romani *et al.*, 2006). Jamur juga memiliki pertumbuhan yang kuat, jaringan hifa masif, rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, ketahanan terhadap logam berat, protein pengikat logam, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan pH dan suhu (Joshi, 2014; Dixit *et al.*, 2015; Kulshreshtha *et al.*, 2014; Kapahi & Sachdeva, 2017; Khan dkk, 2019; Bhattacharya dkk, 2011; Dhankhar & Hooda, 2011; Singh dkk, 2015).

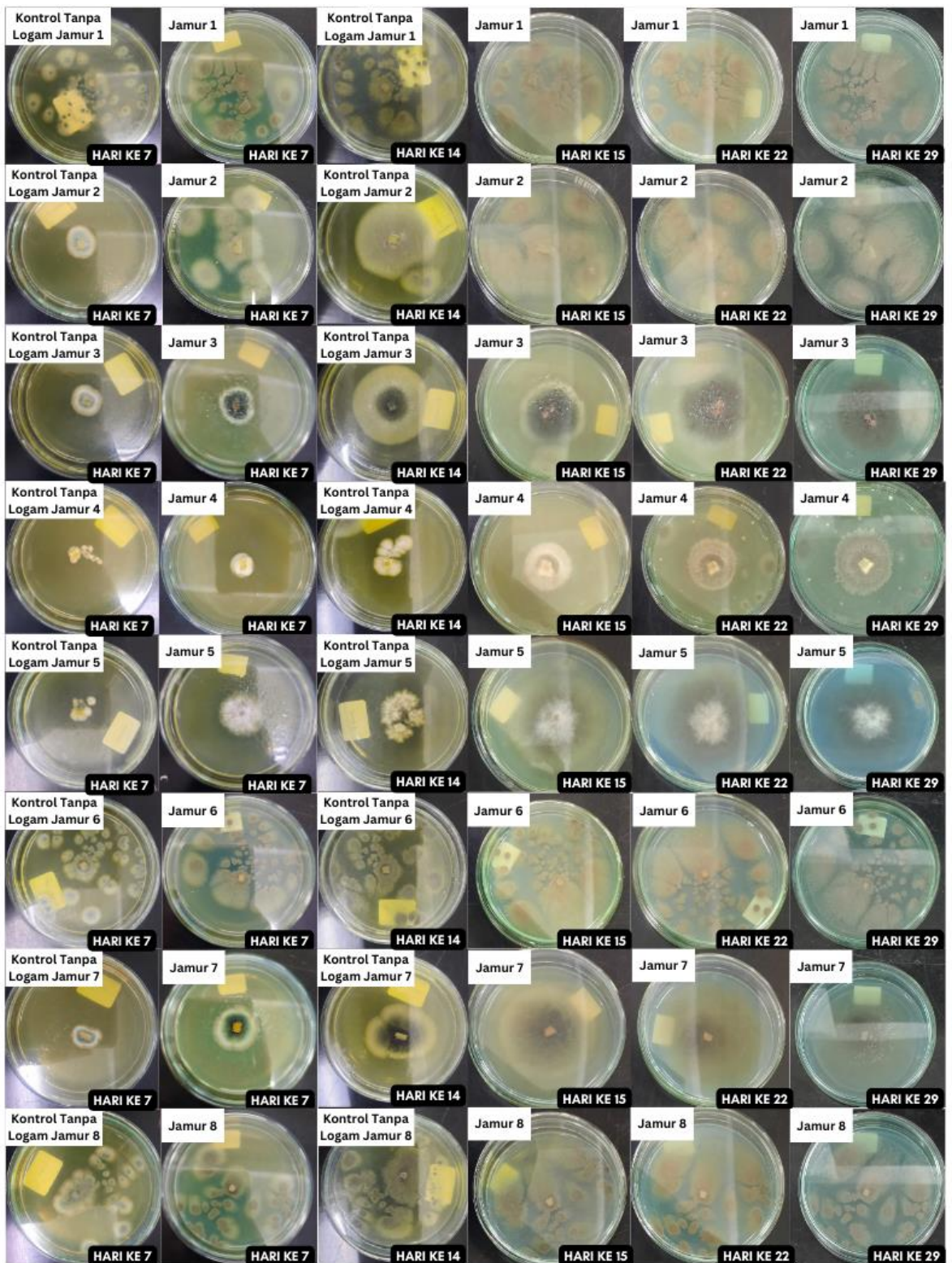
Jamur membutuhkan nutrisi untuk tumbuh dan bertahan hidup. Jamur bersifat heterotrofik sehingga kebutuhan nutrisi dan metabolismenya bergantung pada karbon yang diperoleh dari organisme lain. Jamur sangat bergantung pada karbon. Biomassa jamur dalam bentuk karbon bervariasi dari 38 hingga 57% persentase massa kering (Zhang & Elser, 2017). Jamur menggunakan karbon sebagai sumber energi, menggabungkannya dengan hidrogen, oksigen, dan nitrogen untuk membangun elemen struktural selnya (Walker & White, 2017).

4.3 Hasil Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Oleh Jamur

Dari hasil uji bioremediasi yang telah dilakukan oleh kedelapan isolat jamur, didapatkan hasil sebagai berikut.

4.3.1 Konsentrasi Timbal 50 ppm

Berikut hasil bioremediasi oleh kedelapan isolat jamur pada media dengan konsentrasi timbal 50 ppm dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Hasil bioremediasi timbal 50 ppm oleh kedelapan isolat jamur
Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil dari bioremediasi timbal dengan konsentrasi 50 ppm oleh jamur didapatkan bahwa pada hari ke 7, isolat jamur 1, 2, 3, 6, 7, 8 telah mengalami perubahan warna pada media. Untuk isolat jamur 4 perubahan warna terlihat pada hari ke 22. Sedangkan, isolat jamur 5 perubahan warna terlihat pada hari ke 15. Perubahan warna terjadi dari kuning – hijau kebiruan – biru. Kedelapan isolat jamur tersebut dihitung jumlah koloni dan besar diameter setiap 7 hari. Hasil perhitungan jumlah dan pengukuran diameter koloni dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 50 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	50			
	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 jamur berjumlah 21-40

+++ = Koloni jamur berjumlah 41-60

++++ = Koloni jamur berjumlah >60

- = Kontaminasi

Tabel 5. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 50 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	50			
	Hari			
	7	15	22	29
Isolat 1	++	++	++	++
Isolat 2	+++	+++	+++	+++
Isolat 3	+++	++++	++++	+++++
Isolat 4	++	+++	++++	++++
Isolat 5	+++	+++++	+++++	+++++
Isolat 6	+++	+++	+++	+++
Isolat 7	+++	+++++	+++++	+++++
Isolat 8	++	+++	+++	+++

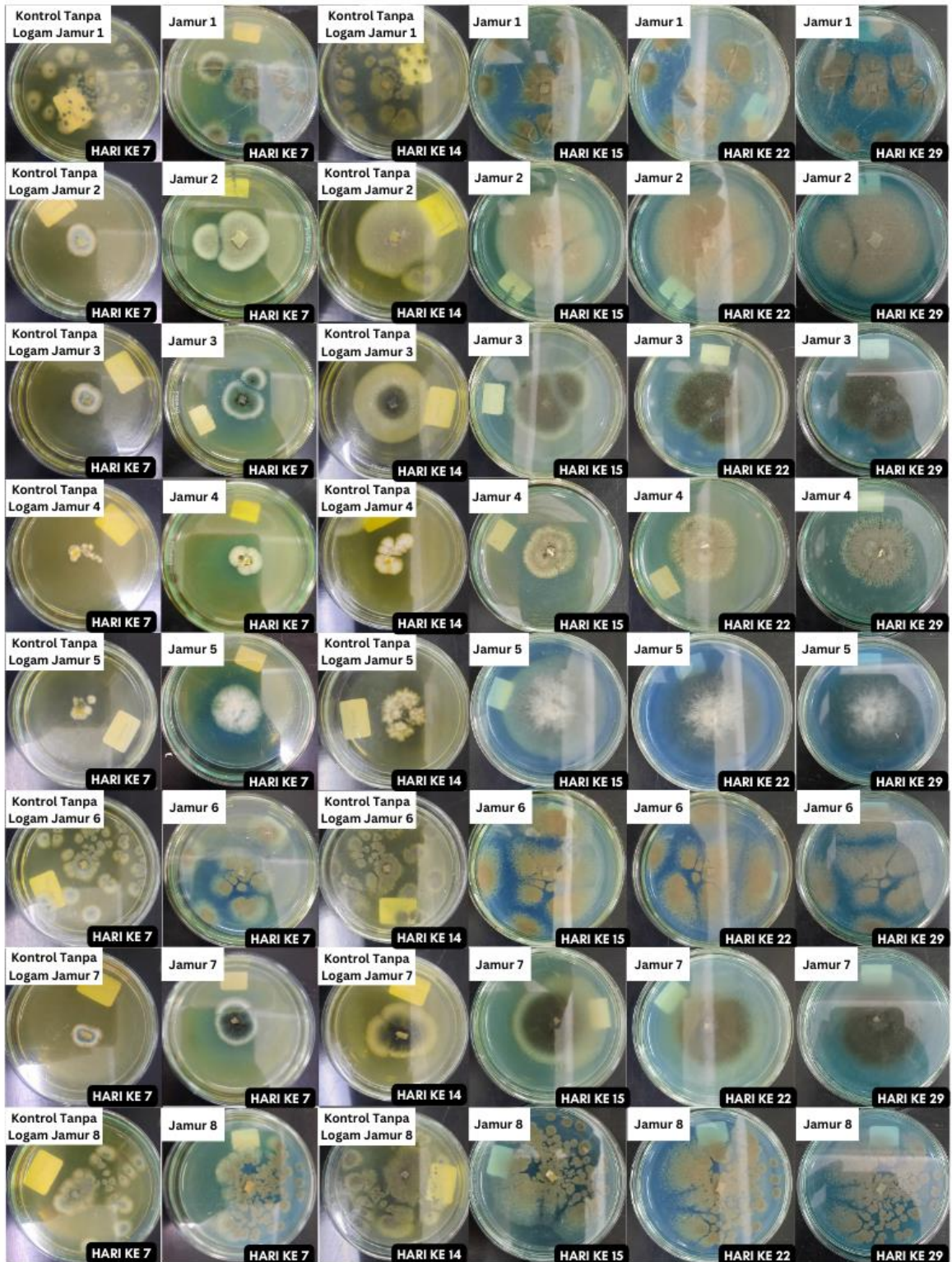
Keterangan:

- + = Koloni jamur berdiameter 0 – 1 cm
- ++ = Koloni jamur berdiameter 1,1 – 2 cm
- +++ = Koloni jamur berdiameter 2,1 – 3 cm
- ++++ = Koloni jamur berdiameter 3,1 – 4 cm
- +++++ = Koloni jamur berdiameter >4 cm

Dari hasil perhitungan dan pengukuran tersebut didapatkan bahwa isolat jamur yang terbaik untuk remediasi timbal 50 ppm adalah isolat jamur 5. Isolat tersebut memiliki pertumbuhan jamur dengan diameter yang paling besar. Diameter dari isolat jamur tersebut sebesar 6,65 cm di hari ke 29 pengecekan.

4.3.2 Konsentrasi Timbal 100 ppm

Berikut hasil bioremediasi oleh kedelapan isolat jamur pada media dengan konsentrasi timbal 100 ppm dapat dilihat pada gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Hasil bioremediasi timbal 100 ppm oleh kedelapan isolat jamur
Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil dari bioremediasi timbal dengan konsentrasi 100 ppm oleh jamur didapatkan bahwa pada hari ke 7, kedelapan isolat jamur terlihat perubahan warna pada media. Perubahan warna terjadi dari kuning – hijau kebiruan – biru. Kedelapan isolat jamur tersebut dihitung jumlah koloni dan besar diameter setiap 7 hari. Hasil perhitungan jumlah dan pengukuran diameter koloni dapat dilihat pada tabel 6 dan 7 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 100 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	100			
	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 jamur berjumlah 21-40

+++ = Koloni jamur berjumlah 41-60

++++ = Koloni jamur berjumlah >60

- = Kontaminasi

Tabel 7. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 100 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	100			
	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 – 1 cm

++ = Koloni jamur berdiameter 1,1 – 2 cm

+++ = Koloni jamur berdiameter 2,1 – 3 cm

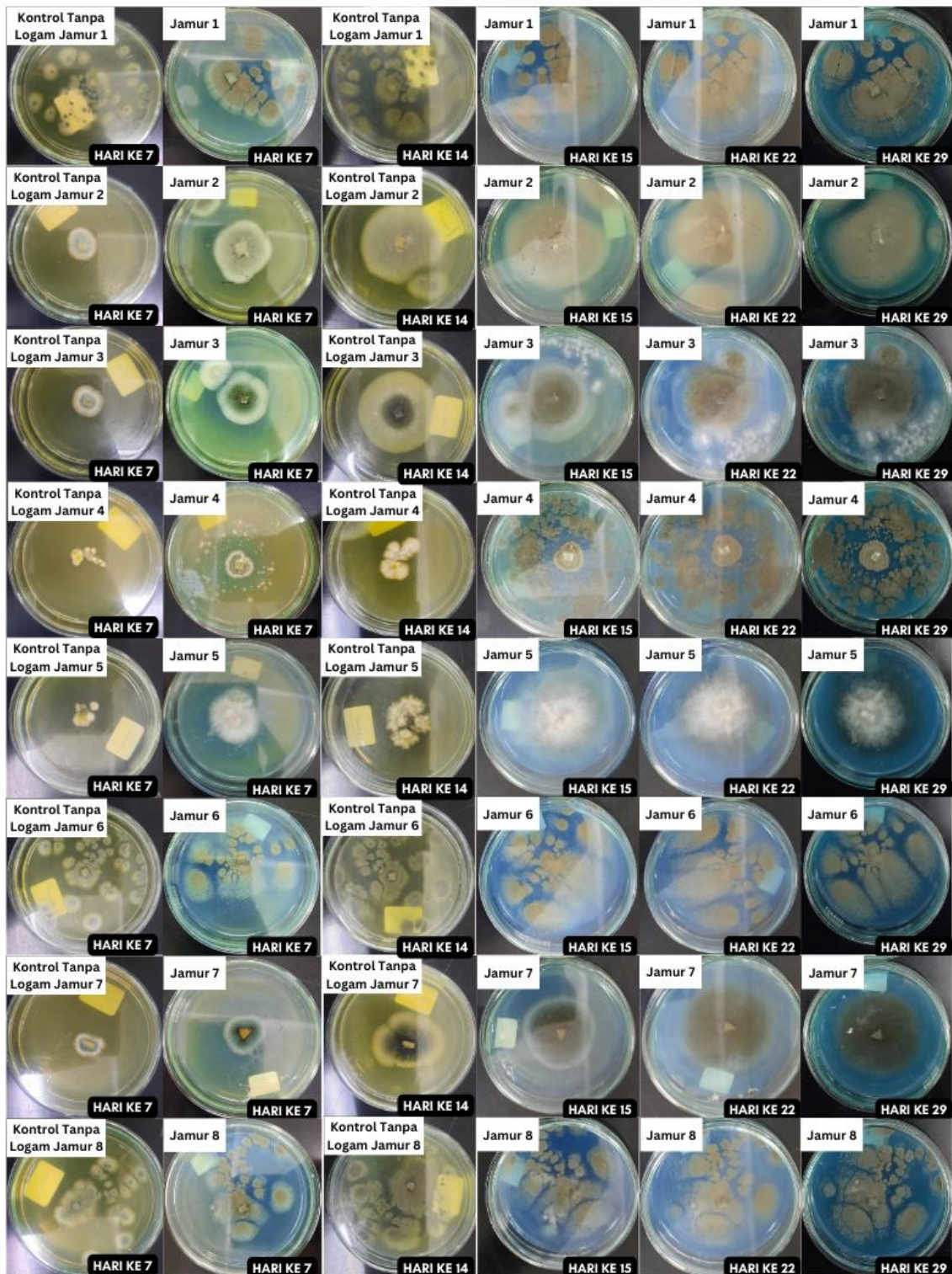
++++ = Koloni jamur berdiameter 3,1 – 4 cm

+++++ = Koloni jamur berdiameter >4 cm

Dari hasil perhitungan dan pengukuran tersebut didapatkan bahwa isolat jamur yang terbaik untuk remediasi timbal 100 ppm adalah isolat jamur 7. Isolat tersebut memiliki pertumbuhan jamur dengan diameter yang paling besar. Diameter dari isolat jamur tersebut sebesar 5,85 cm di hari ke 29 pengecekan.

4.3.3 Konsentrasi Timbal 150 ppm

Berikut hasil bioremediasi oleh kedelapan isolat jamur pada media dengan konsentrasi timbal 150 ppm dapat dilihat pada gambar 14 di bawah ini.



Gambar 14. Hasil bioremediasi timbal 150 ppm oleh kedelapan isolat jamur
Sumber: Dokumen Pribadi

Hasil dari bioremediasi timbal dengan konsentrasi 100 ppm oleh jamur didapatkan bahwa pada hari ke 7, kedelapan isolat jamur terlihat perubahan warna pada media. Perubahan warna terjadi dari kuning – hijau kebiruan – biru. Kedelapan isolat jamur tersebut dihitung jumlah koloni dan besar diameter setiap 7 hari. Hasil perhitungan jumlah dan pengukuran diameter koloni dapat dilihat pada tabel 8 dan 9 di bawah ini.

Tabel 8. Hasil perhitungan jumlah koloni jamur pada media 150 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	150			
	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 jamur berjumlah 21-40

+++ = Koloni jamur berjumlah 41-60

++++ = Koloni jamur berjumlah >60

- = Kontaminasi

Tabel 9. Hasil pengukuran diameter isolat jamur pada media 150 ppm

Jamur	Konsentrasi Timbal (ppm)			
	150			
	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 – 1 cm

++ = Koloni jamur berdiameter 1,1 – 2 cm

+++ = Koloni jamur berdiameter 2,1 – 3 cm

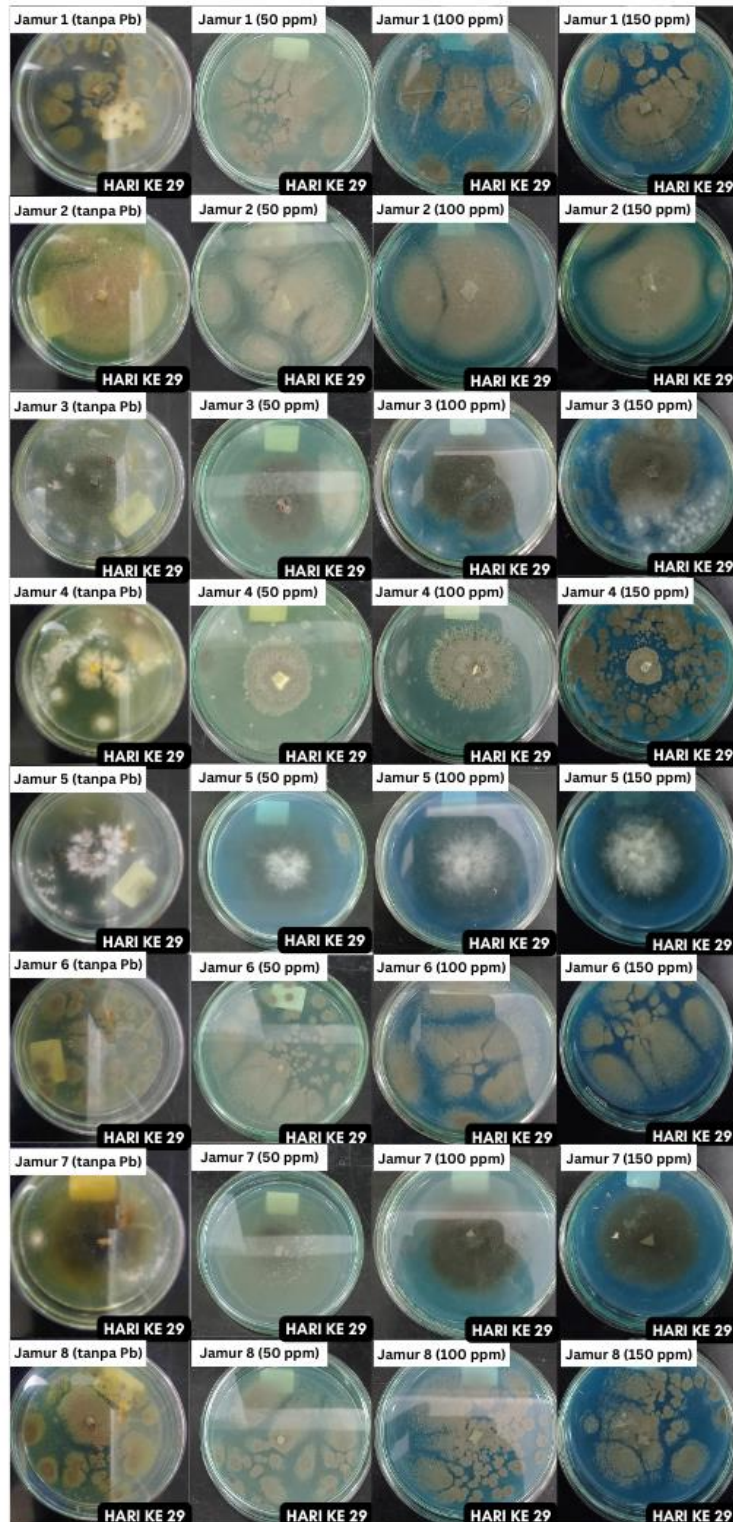
++++ = Koloni jamur berdiameter 3,1 – 4 cm

+++++ = Koloni jamur berdiameter >4 cm

Dari hasil perhitungan dan pengukuran tersebut didapatkan bahwa isolat jamur yang terbaik untuk remediasi timbal 150 ppm adalah isolat jamur 2. Isolat tersebut memiliki pertumbuhan jamur dengan diameter yang paling besar. Diameter dari isolat jamur tersebut sebesar 5,35 cm di hari ke 29 pengecekan.

4.3.4 Keseluruhan Isolat Pada Hari Ke 29

Berikut hasil dari bioremediasi oleh kedelapan jamur oleh seluruh konsentrasi Pb pada hari ke 29 dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Hasil bioremediasi kedelapan jamur terhadap keseluruhan konsentrasi Pb pada hari ke 29
Sumber: Dokumen Pribadi

Dari hasil bioremediasi Pb oleh kedelapan jamur tersebut, didapatkan bahwa pada hari ke 29, isolat jamur 7 pada remediasi Pb dengan konsentrasi 50 ppm merupakan hasil terbaik karena memiliki diameter koloni yang paling besar. Diameter koloni tersebut sebesar 6,7 cm. Pada inkubasi hari ke 29 untuk isolat jamur 7 tersebut, media telah berubah menjadi warna hijau kebiruan.

4.4 Analisa Hasil Bioremediasi Logam Timbal (Pb)

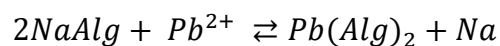
Berdasarkan hasil dari bioremediasi kedelapan isolat jamur, dapat diketahui bahwa jamur-jamur tersebut dapat tumbuh pada media yang mengandung logam timbal (Pb). Pada media ini, larutan logam timbal $Pb(NO_3)_2$ yang digunakan bersifat asam dengan pH yang telah diuji sebesar 5. Media yang digunakan dengan komposisi *Malt Extract Agar*, *Agar Bacteriological*, larutan *Bromothymol Blue*, dan larutan logam timbal dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm. Media tersebut diatur hingga memiliki pH berkisar 5,3-5,5 dengan warna media kuning. Perubahan warna mulai terlihat pada inkubasi hari ke 7. Media awal bioremediasi berwarna kuning, tetapi pada hari ke 7 media mulai berubah warna menjadi hijau kebiruan. Hingga pada hari ke 29, warna di setiap media telah berubah menjadi biru gelap yang artinya terjadi perubahan pH pada media tersebut.

Dinding sel jamur memiliki banyak ikatan silang polisakarida (kitin, kitosan, glukan), asam glukuronat, galaktosamin, sedikit glikoprotein, melanin dan polimer fenolik yang mengandung satuan fenolik, peptide, asam lemak, banyak gugus yang mengandung oksigen seperti karboksil, karbonil, amino, hidroksil, fosfat, metoksi dan merkapto yang berpotensi sebagai pengikat logam. Muatan negatif yang ada pada permukaan sel jamur disebabkan oleh adanya fosfat dan gugus karboksil. Sedangkan gugus amina yang berada dalam kitosan memiliki muatan positif, keduanya dapat terlibat dalam gaya elektrostatik ion yang berlawanan. Biopolimer seperti kitin dan glukan dapat mengikat logam (Harms, *et al.*, 2011). Jamur dapat mendekontaminasi ion logam melalui serapan energi, presipitasi ekstraseluler dan intraseluler, serta konversi valensi. Pada beberapa jamur, logam dapat terakumulasi pada miselium dan sporanya. Bagian luar dari dinding jamur berperan seperti ligan yang digunakan untuk mengikat ion Pb.

Peptidoglikan, polisakarida, dan lipid merupakan bagian dari dinding sel yang kaya akan ligan pengikat logam. Gugus amina dapat meningkatkan penyerapan logam secara aktif, karena berikatan dengan spesies logam anionik melalui interaksi elektrostatik dan logam kationik pada kompleksasi permukaan (Igiri *et al.*, 2018).

Kemampuan jamur dalam mengakumulasi logam berat dapat dilakukan melalui penjerapan secara fisika-kimia yang disebut biosorpsi. Mekanisme biosorpsi pada jamur terjadi adanya perpindahan Pb melewati membran sel dan menghasilkan akumulasi intraseluler yang bergantung pada metabolisme sel. Hal tersebut juga berkaitan dengan ketahanan jamur terhadap logam beracun. Pada biosorpsi jenis *non-metabolism dependent* penjerapan logam terjadi karena adanya interaksi fisika-kimia antara logam dan gugus fungsi yang terdapat pada permukaan atau dinding sel jamur. Dinding sel jamur ini terdiri dari polisakarida, protein, dan lemak (Ahalya dkk., 2007).

Salah satu polisakarida yang terkandung dalam dinding sel yaitu senyawa alginate, mempunyai sifat *ion exchange* dengan mekanisme sebagai berikut (Nurhayati & Maryanti, E.N., 2004):



Formasi kompleks antara ion-ion logam dengan gugus fungsi seperti *carbonyl*, *amino*, *thiol*, *hydroxyl*, *phosphate*, dan *hydroxy-carboxyl* yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak-balik dan cepat, dapat lebih efektif dalam kondisi pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya di media dimana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut (Gadd, G.M., 1998). Mekanisme yang terjadi dalam proses biosorpsi kemungkinan merupakan kombinasi dari kompleksasi, *ion exchange*, adsorpsi, *chelation microprecipitation*, dan sebagainya (Volesky dalam Soepriyanto, dkk., 2004).

Sel yang terpapar Pb memungkinkan deteksi akumulasi padat elektron sebagai timbal yang mengendap pada permukaan sel, dinding sel, dan sebagai butiran padat elektron di dalam sel. Pembentukan lapisan endapan ini menjadi mekanisme detoksifikasi yang digunakan jamur untuk melawan toksisitas Pb.

Beberapa mikroorganisme mengatasi toksisitas logam dengan mengembangkan mekanisme yang mengubah ion logam menjadi kompleks logam yang tidak terlarut. Kompleks logam ini terbentuk sebagai endapan di luar sitoplasma jamur, sehingga logam tersebut tidak menjadi berbahaya. Seiring biosorpsi yang terjadi pada dinding sel jamur, akumulasi terjadi di dalam sitoplasma, endapan Pb berbentuk mikrogranul yang berkumpul dalam bola atau butiran elektron. Pada jamur *Penicillium sp* mekanisme pengikatan timbal melibatkan adsorpsi ekstraseluler dan serapan intraseluler. Adanya Pb^{2+} untuk berikatan dengan material pada permukaan sel. Polisakarida atau protein merupakan material potensial yang dapat mengikat Pb^{2+} (Ezzouhri, L *et al.*, 2010). Adsorpsi di luar dinding sel kemungkinan merupakan pengikatan ion Pb ke Eksopolisakarida (EPS) pada permukaan sel (Bhaskar & Bhosle, 2006). Mekanisme pengikatan logam pada biomassa jamur *penicillium* terjadi karena adanya pertukaran kalsium dan magnesium untuk pengikatan ion logam. Akumulasi Pb intraseluler menunjukkan difusi kation ke dalam sel. Masuknya Pb pada sitoplasma dapat secara tentative diartikan sebagai konsekuensi dari logam yang diangkut ke dalam sel (Akhtar dkk., 1996).

Keasaman (pH) sangat mempengaruhi aktivitas jamur dalam mengolah kontaminan logam berat (Ayangbenro *et al.*, 2017), karena naik turunnya pH pada media pengolahan menyebabkan proses biosorpsi logam timbal oleh jamur juga mengalami naik dan turun. Jamur menghasilkan enzim dengan beberapa aktivitas, terutama selama proses biosorpsi. Aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH medium menurut Ni *et al.*, (2011) yang menjelaskan bahwa aktivitas enzim optimal pada kisaran pH 6-8 pada saat melakukan bioremediasi.

Pada penelitian Khoury *et al.*, (2022) dan Yin *et al.*, (2022) didapatkan bahwa pada jamur pelapuk putih menggunakan enzim sitokrom peroksidase, mangan peroksidase (MnP), lignin peroksidase (LiP), lipase dan lakase (LAC) untuk mendegradasi dan mereduksi logam berat. Pada awalnya, jamur akan menggunakan nutrisi yang ada pada media untuk bermetabolisme seperti glukosa. Setelah beradaptasi dengan media, jamur tersebut akan menjadikan timbal sebagai sumber nutrisi. Setelah timbal diabsorpsi, maka akan terjadi proses degradasi yang

dikatalis oleh enzim lignolitik seperti enzim lakase, manganese peroxidase (MnP), dan lignin peroxidase (LiP) (Dylia, 2021).

Proses remediasi yang bergantung pada pH dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode adsorpsi, yaitu adsorpsi hidrolisis logam dan adsorpsi pertukaran ion (Basta & Tabatabai, 1992). Muatan negatif pada permukaan sel jamur disebabkan oleh adanya gugus fosfat dan karboksil (Harms *et al.*, 2011). Bagian luar dinding jamur berperan sebagai ligan untuk mengikat ion logam dan menghilangkan logam anorganik. Ion Pb^{2+} pada $Pb(NO_3)_2$ dapat berikatan dengan dinding sel jamur yang bermuatan negatif akibat interaksi elektrostatis. Logam berat dapat diserap oleh mikroorganisme pada tempat pengikatannya pada struktur seluler tanpa melibatkan energi. (Bahafid *et al.*, 2015).

Pada pH tinggi atau basa, ion logam akan bereaksi dengan ion hidroksil membentuk ikatan logam hidroksida, sedangkan pada pH rendah atau asam akan terjadi persaingan antara ion logam dan ion H^+ untuk berikatan dengan dinding sel mikroba. Pada konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang lebih tinggi, permukaan adsorben akan memiliki muatan positif yang lebih banyak sehingga mengurangi gaya tarik menarik antara adsorben dengan kation logam (Maulana dkk, 2017). Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya pH medium yang semakin tinggi atau bersifat basa. Oleh karena itu, kedelapan isolat jamur TPA Piyungan berpotensi untuk meremediasi logam timbal.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Noverita (2021) menemukan bahwa enam isolat makrojamur pada media *Potato Dextrose Broth* (PDB) yang mengandung timbal mampu menurunkan konsentrasi timbal tergantung pada waktu inkubasi. Berdasarkan kemampuan biomassa dalam mengadsorpsi logam timbal, *Pleurotus sp* (PL-1) dan *Trametes sp* (T-3) merupakan isolat yang paling potensial sebagai biosorben. Serupa dengan penelitian yang dilakukan Lubis (2019), jamur laut berperan penting dalam bioremediasi air limbah dan tanah yang terkontaminasi logam berat. Spora mucor mampu memperbaiki berbagai jenis logam. Isolat tersebut mampu menyisihkan Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U hingga > 81-99%.

4.5 Morfologi Jamur Secara Makroskopis dan Mikroskopis

Dari permurnian isolat jamur yang dilakukan dan pengujian bioremediasi terhadap timbal, didapatkan sebanyak 8 isolat jamur yang berpotensi sebagai bioremediator logam Pb. Kedelapan isolat tersebut kemudian diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis.

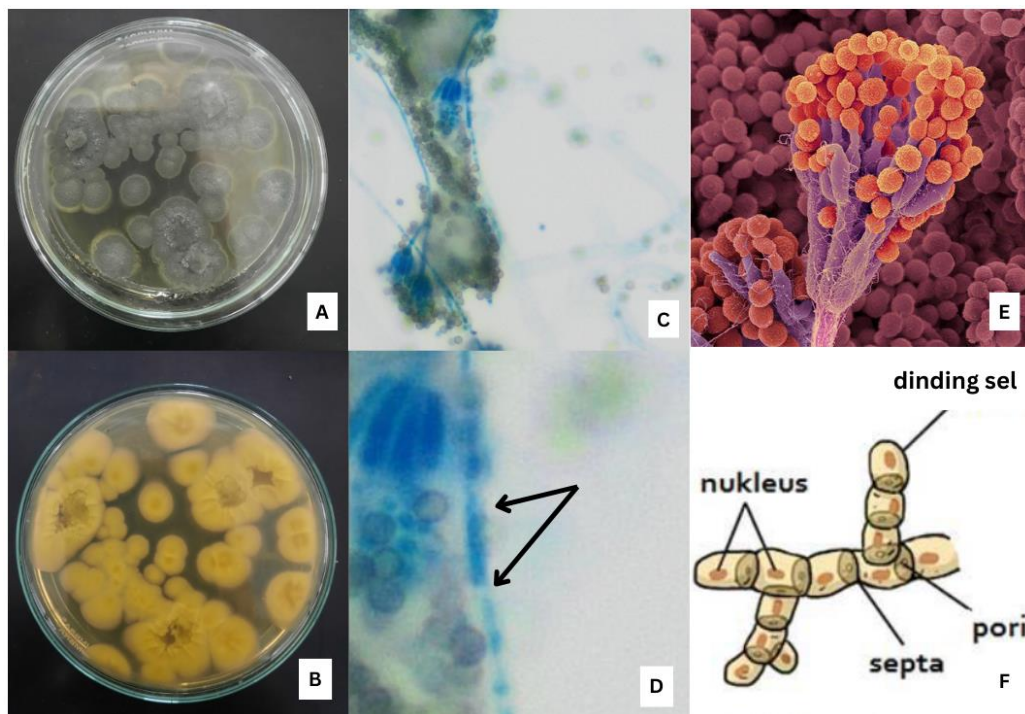
4.5.1 Isolat 1

Isolat 1 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi ditunjukkan pada Tabel 10. Secara makroskopis, isolat 1 mempunyai tekstur seperti beludru, warna permukaan hijau, bagian atas koloni sedikit putih, dan bentuk berkerut (*rugose*). Isolat 1 ini memiliki karakter pertumbuhan yang cepat menyebar.

Tabel 10. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 1

KARAKTER	ISOLAT 1	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan sedikit warna putih di atas	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersekat dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 1, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 10) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 1 dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. (A) Tampak atas isolat 1; (B) Tampak bawah isolat 1; (C) Mikroskopik bentuk jamur Isolat 1; (D) Hifa isolat 1 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa
 Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 1 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 1 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

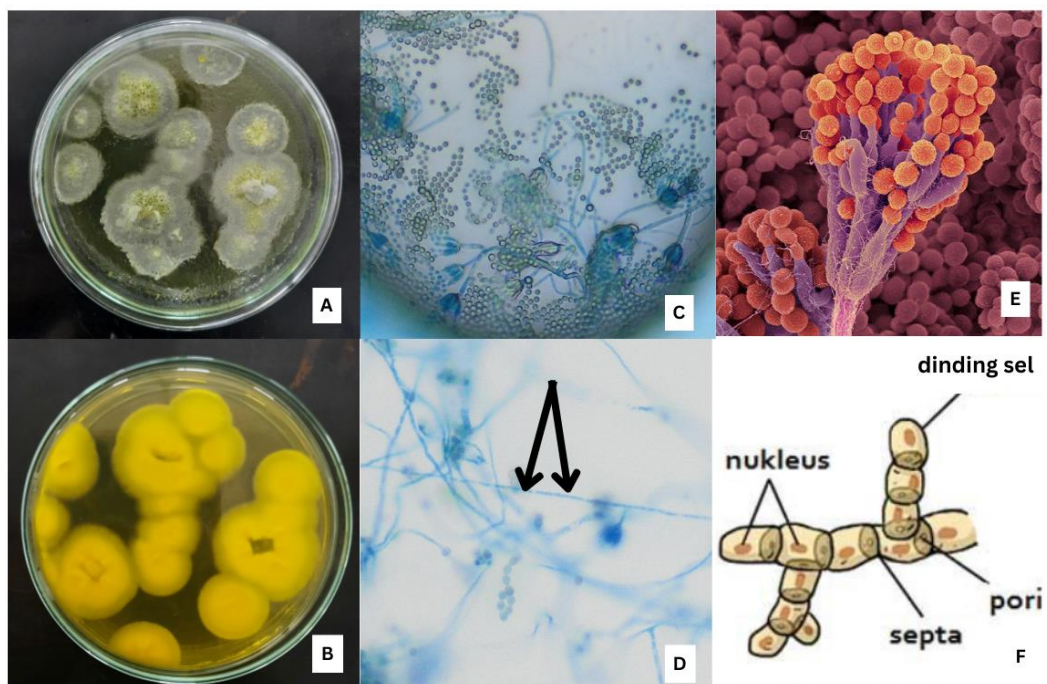
4.5.2 Isolat 2

Isolat 2 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 11. Secara makroskopis, isolat 2 mempunyai tekstur seperti beludru dengan warna permukaan hijau dan sedikit semburat kuning pada bagian atas koloni dan memiliki bentuk berkerut (*rugose*). Isolat 2 ini memiliki karakter pertumbuhan yang cepat menyebar.

Tabel 11. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 2

KARAKTER	ISOLAT 2	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan sedikit warna kuning di atas	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehujauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersekat dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 2, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 11) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 2 dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. (A) Tampak atas isolat 2; (B) Tampak bawah isolat 2; (C) Mikroskopik isolat 2; (D) Hifa isolat 2 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan Genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 2 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 2 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

4.5.3 Isolat 3

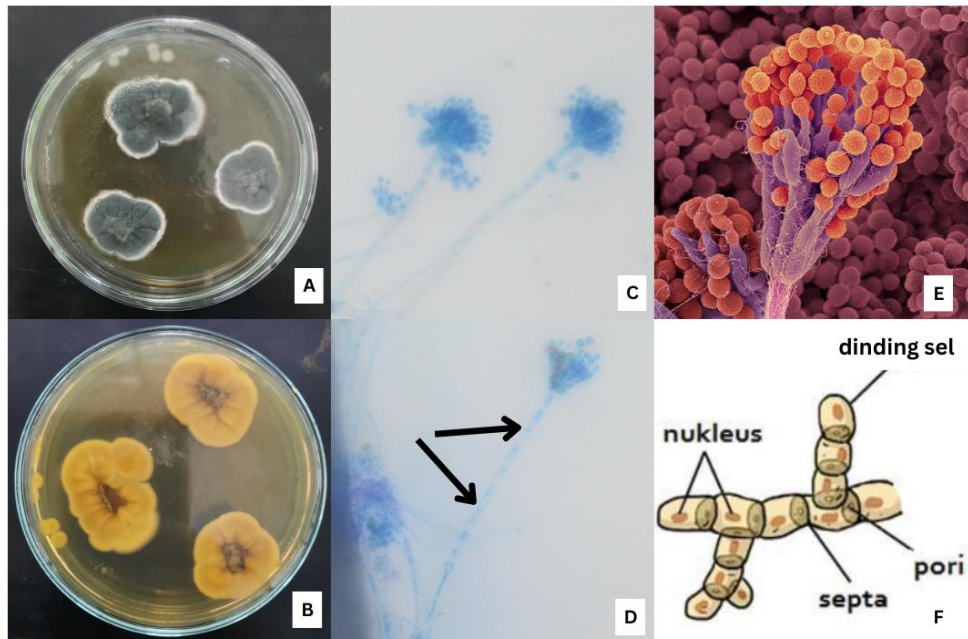
Isolat 3 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi ditunjukkan pada Tabel 12. Secara makroskopis, isolat 3 mempunyai

tekstur seperti beludru, warna permukaan hijau, tepi koloni agak putih, dan bentuk keriput (*rugose*). Isolat 3 memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat tumbuh.

Tabel 12. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 3

KARAKTER	ISOLAT 3	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>Velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan tepi berwarna putih	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehujauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekata dan bercabang	Bersekata dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 3, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 12) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 3 dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. (A) Tampak atas isolat 3; (B) Tampak bawah isolat 3; (C) Mikroskopik isolat 3; (D) Hifa isolat 3 (panah menunjukkan speta); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 2 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 2 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

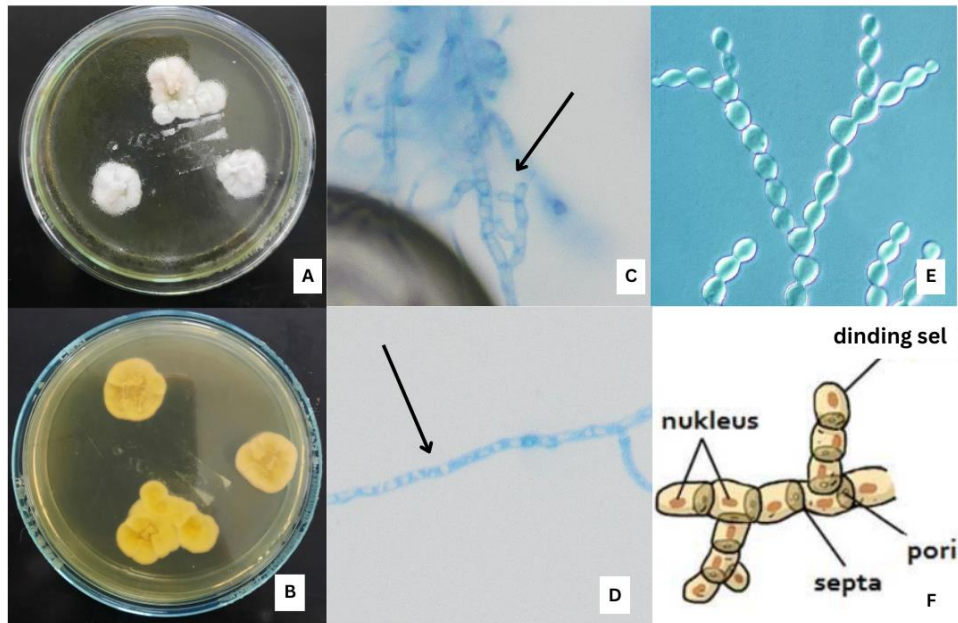
4.5.4 Isolat 4

Isolat 4 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 13. Secara makroskopis, isolat 4 mempunyai tekstur seperti beludru, warna permukaan putih, dan bentuk berkerut (*rugose*). Isolat 4 mempunyai karakteristik pertumbuhan yang cepat.

Tabel 13. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 4

KARAKTER	ISOLAT 4	<i>Monilia</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Halus <i>cottony</i> (Darmuh, 2018)
Tampak Atas	Berwarna putih	Berwarna terang (Darmuh, 2018)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	
Hifa	Bersekat menyerupai rantai	Bersekat (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Bercabang dan menyerupai rantai	Bertunas, bercabang dan menyerupai rantai panjang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Monilia</i>	

Hasil dari identifikasi morfologi isolat 4 secara mikroskopik yang dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri karakteristik morfologi isolat 4 yang ditemukan (tabel 13) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Monilia*. Sama halnya yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti konidianya bertunas dimana bentuknya menyerupai rantai dan terdapat di dekat ujung jamur tersebut. Morfologi isolat 4 dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. (A) Tampak atas isolat 4; (B) Tampak bawah isolat 4; (C) Mikroskopik isolat 4; (D) Hifa isolat 4 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

4.5.5 Isolat 5

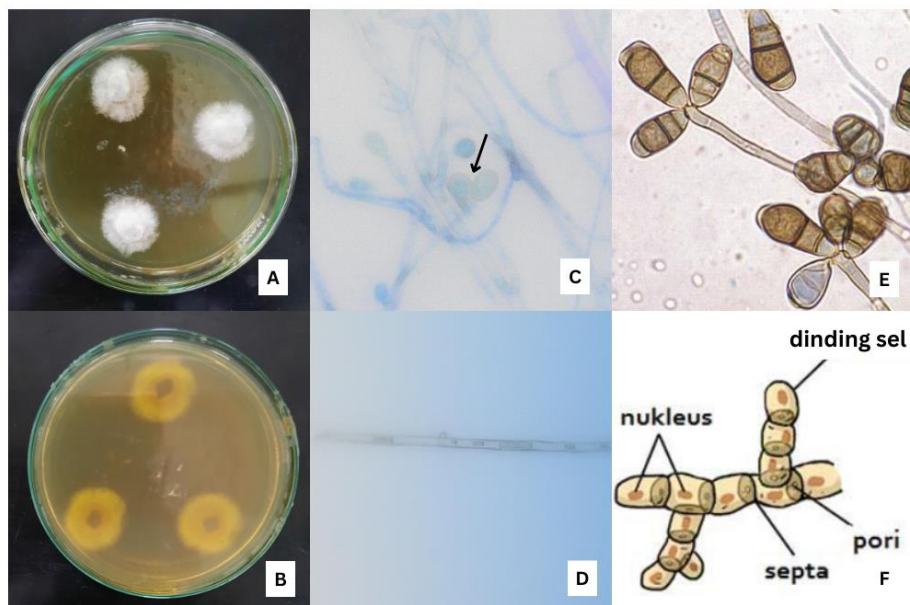
Isolat 5 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 14. Secara makroskopis, isolat 5 mempunyai tekstur seperti kapas, warna permukaan putih, dan bentuk *umbonate*. Isolat 5 memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat.

Tabel 14. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 5

KARAKTER	ISOLAT 5	<i>Curvularia</i>
Tekstur	Seperti kapas (<i>cottony</i>)	Halus seperti kapaan (Sobianti <i>et al.</i> , 2020)
Tampak Atas	Berwarna putih	Kelabu kehitaman (Sobianti <i>et al.</i> , 2020)

Bentuk	<i>Umbonate</i>	Bagian tengahnya menggunung (Kalpajar, 2015)
Hifa	Bersekak	Bersekak (Suryan, <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan tidak bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Culvularia</i>	

Hasil dari identifikasi morfologi isolat 5 secara mikroskopik yang dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri karakteristik morfologi isolat 5 yang ditemukan (tabel 14) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Curvularia*. Sama halnya yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti konidiana melengkung seperti kurva dan hifanya tidak bersekak. Morfologi isolat 5 dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. (A) Tampak atas isolat 5; (B) Tampak bawah isolat 5; (C) Mikroskopik isolat 5 (panah menunjukkan konidia); (D) Hifa isolat 5; (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

4.5.6 Isolat 6

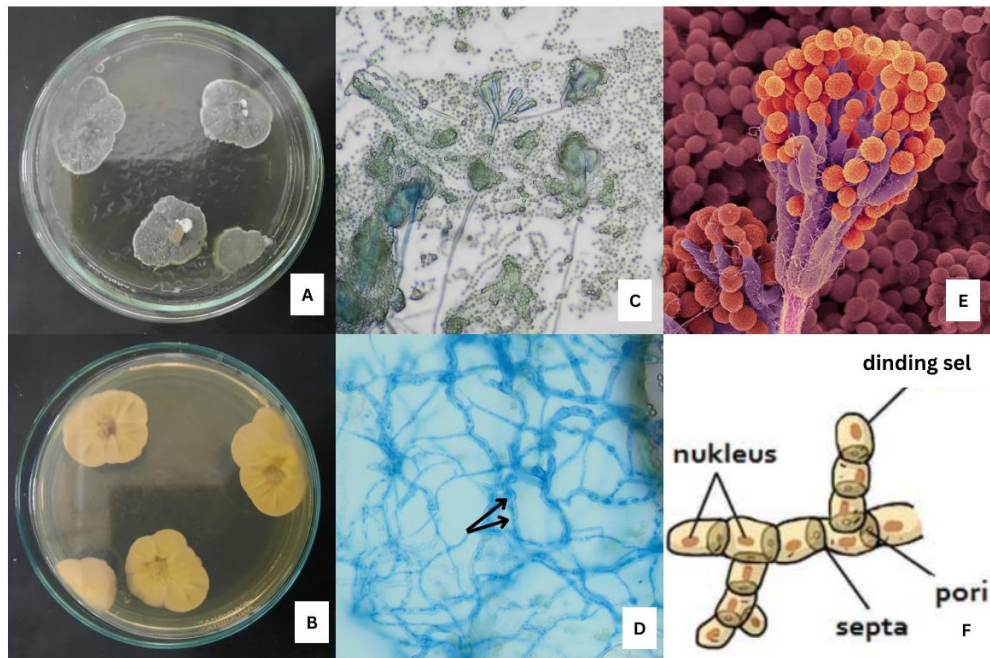
Isolat 6 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 15. Secara makroskopis, isolat 6 mempunyai tekstur seperti beludru, warna permukaan hijau, tepi koloni agak putih, dan bentuk keriput (*rugose*). Isolat 6 memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat.

Tabel 15. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 6

KARAKTER	ISOLAT 6	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan tepi berwarna putih	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehujauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersekat dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 6, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 15) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan

permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 6 dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21. (A) Tampak atas isolat 6; (B) Tampak bawah isolat 6; (C) Mikroskopik isolat 6; (D) Hifa isolat 6 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 6 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 6 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

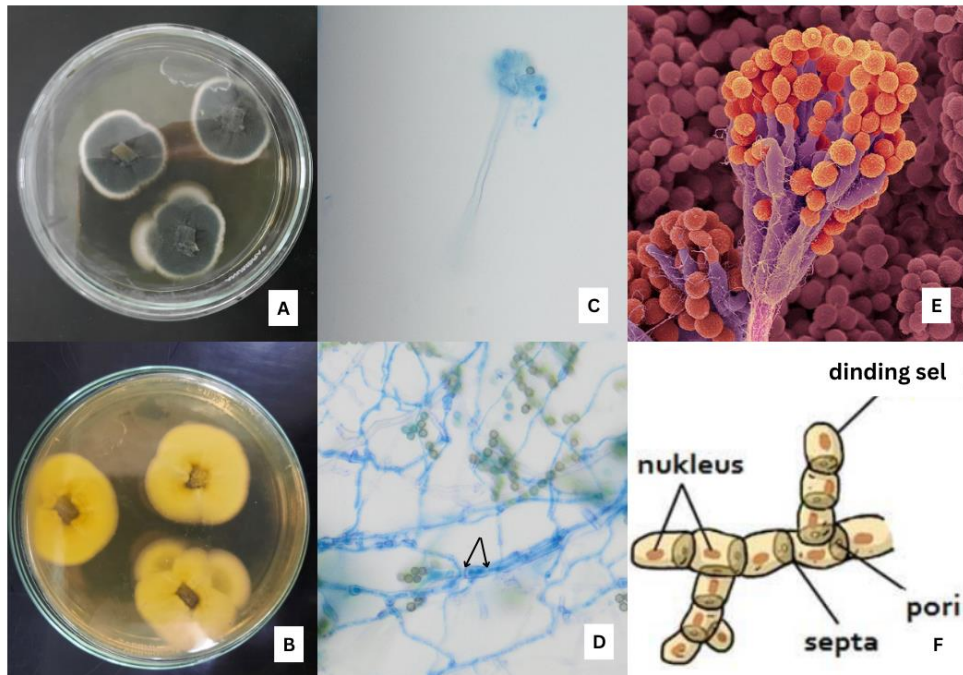
4.5.7 Isolat 7

Isolat 7 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 16. Secara makroskopis, isolat 7 mempunyai tekstur seperti beludru, warna permukaan hijau, tepi koloni agak putih, dan bentuk keriput (*rugose*). Isolat 7 memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat.

Tabel 16. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 7

KARAKTER	ISOLAT 7	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan tepi berwarna putih	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehujauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersekat dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 7, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 16) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 7 dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. (A) Tampak atas isolat 7; (B) Tampak bawah isolat 7; (C) Mikroskopik isolat 7; (D) Hifa isolat 7 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 7 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 7 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

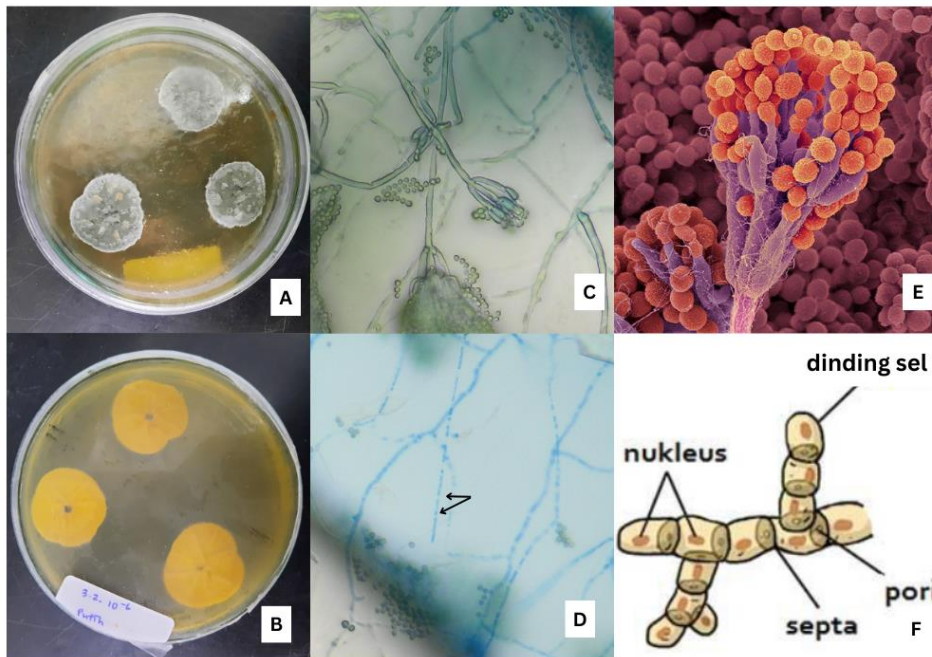
4.5.8 Isolat 8

Isolat 8 diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil identifikasi tercantum pada Tabel 17. Secara makroskopis, isolat 8 mempunyai tekstur seperti beludru, warna permukaan hijau, tepi koloni agak putih, dan bentuk keriput (*rugose*). Isolat 8 memiliki karakteristik pertumbuhan yang cepat.

Tabel 17. Identifikasi makroskopis & mikroskopis isolat 8

KARAKTER	ISOLAT 8	<i>Penicillium</i>
Tekstur	Beludru (<i>velvety</i>)	Beludru (<i>velvety</i>) (Sing & Mathur, 1991)
Tampak Atas	Berwarna hijau dengan tepi berwarna putih	Awalnya putih, kemudian berwarna hijau kebiruan, abu-abu kehijauan, abu-abu zaitun terkadang kuning atau kemerah-merahan (Singh <i>et al.</i> , 1991)
Bentuk	Berkerut (<i>Rugose</i>)	Berkerut (<i>Rugose</i>) (Najah, 2022)
Hifa	Bersekat dan bercabang	Bersekat dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Konidiofor	Panjang	Panjang dan bercabang (Suryani <i>et al.</i> , 2020)
Dugaan Genus	<i>Penicillium</i>	

Hasil identifikasi morfologi isolat 8, karakteristik-karakteristik yang ditemukan (tabel 17) memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Dalam studi oleh Kim *et al.*, (2007) membudidayakan jamur pada medium *malt extract agar* (MEA) bersuhu 25°C selama 7 hari, yang ditandai dengan tepi koloni berwarna abu-abu kebiruan, sisi belakang berwarna kuning kecoklatan, dan permukaan jamur bertekstur seperti beludru. Morfologi isolat 8 dapat dilihat pada gambar 23.



Gambar 23. (A) Tampak atas isolat 8; (B) Tampak bawah isolat 8; (C) Mikroskopik isolat 8; (D) Hifa isolat 8 (panah menunjukkan septa); (E) Hasil perbandingan genus; (F) Hifa

Sumber: Dokumen Pribadi dan Buku Mikologi (2020)

Pengamatan mikroskopis isolat 8 dilakukan menggunakan perbesaran lensa 40X. Ciri-ciri morfologi isolat 8 sesuai dengan ciri-ciri jamur *Penicillium*, yang dijelaskan oleh Suryani dkk (2020) dalam Buku Mikologi seperti hifa bersekat dan bercabang, konidiofor berukuran Panjang dan bercabang.

4.6 Alternatif Bioteknologi Jamur Sebagai Bioremediator Logam Timbal di Lapangan

Teknik mikoremediasi memanfaatkan jamur sebagai agen untuk menghilangkan kontaminan dari lingkungan. Selama ini remediasi logam timbal dengan menggunakan fungi hanya dilakukan pada skala laboratorium dan belum diterapkan secara langsung di lapangan. Terdapat pendekatan utama dalam bioremediasi logam berat yaitu bioaugmentasi yang merupakan penambahan mikroorganisme pendegradasi logam berat untuk membantu proses degradasi, dan biostimulasi yaitu penambahan nutrient untuk menstimulasikan pertumbuhan

mikroorganisme pendegradasi (V.M Kensa, 2011). Alternatif yang mungkin dapat dilakukan dengan menyediakan kebutuhan nutrisi jamur sehingga jamur tersebut dapat hidup dan melakukan proses biodegradasi pada lingkungan yang tercemar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari dilaksanakannya penelitian ini diantaranya:

1. Jamur *indigenus* berhasil diisolasi dari sampel tanah TPA Piyungan, Yogyakarta. Isolat jamur 1, 2, 3, 6, 7, dan 8 memiliki karakteristik-karakteristik yang mirip dengan karakteristik jamur *Penicillium*. Karakteristik-karakteristik isolat jamur 4 memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Monillia*. Sedangkan karakteristik-karakteristik isolat jamur 5 memiliki kemiripan dengan karakteristik jamur *Curvularia*.
2. Jamur *indigenus* TPA Piyungan berhasil tumbuh di media yang mengandung logam timbal (Pb). Proses remediasi yang terjadi oleh jamur terbukti dari adanya perubahan pH pada media. pH awal media yang mengandung logam timbal berkisar antara 5,3-5,5 yang bersifat asam. Pada hari ke 29 masa remediasi media tersebut berubah warna menjadi biru dalam artian bersifat basa. Sehingga, jamur *indigenus* TPA Piyungan berpotensi untuk meremediasi logam timbal.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan apabila penelitian ini akan dilanjutkan yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat membahas lebih lanjut faktor-faktor yang mempengaruhi proses bioremediasi seperti enzim yang berperan dalam proses tersebut.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat membahas lebih lanjut mengenai pengurangan konsentrasi logam timbal (Pb) setelah mengalami proses bioremediasi menggunakan analisa AAS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adryan, A., Qidyastuti, R., Djajakirana, G. 2017. Isolasi dan Identifikasi Mikroba Tanah Pendegradasi Selulosa dan Pektin dari Rhizosfer *Aquilaria malaccensis*. *Buletin Tanah dan Lahan*; 1(1): 58-64.
- Ahalya, N., Kanamadi, R.D., Ramachandra, T.V. 2007. Biosorption of Heavy Metals, Centre for Ecological Science, Indian Institute Science, Bangalore, India.
- Ahmad, R.Z. 2018. Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan. *Wartozka*, Volume 28 (1).
- Anilkumar Anju., Sukumaran, Dipu., Vincent, S.G.T. 2015. Effect of Municipal Solid Waste Leachate on Ground Water Quality of Thiruvananthapuram District, Kerala, India. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 3(5), pp. 151-157.
- Ariyanto. 2009. Ilmu Tanah (Soil Science). Diunduh pada 25 September 2023. Tersedia pada <http://ariyanto.staff.uns.ac.id/files/2009/06/Bab-01-Pendahuluan.pdf>
- Ayangbenro, A.S., Babalola, O.O. 2017. A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol 14 (1), 94-99, 2017.
- Bahafid, W., Joutry, N.T., Asri, M., Sayel, H., Tirry, N., & Ghachtouli, N.E. 2015. Yeast Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals. 269-289.
- Bantulpedia. 2023. Kondisi TPA Piyungan Memprihatinkan, Alarm Darurat Sampah Ada di Level Sangat Tinggi. Diakses pada 1 Juni 2023, dari <https://bantulpedia.bantulkab.go.id/informasi/berita/detail/5698/kondisi->

[tpa-piyungan-memprihatinkan--alarm-darurat-sampah-ada-di-level-sangat-tinggi.html](#)

- Budi, S.W., Santoso, E., & Wahyudi, A. 2010. Identifikasi Jenis-Jenis Fungi yang Potensial Terhadap Pembentukan Gahari dari Batang *Aquilaria* sp. *Jurnal Silviculture Tropika*, 1 (1), 1-5.
- Chalid, L.M.F. 2022. Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Cu, dan Pb Menggunakan Metode Spektrometer Serapan Atom Pada Tanah TPA Piyungan, Bantul. *Tugas Akhir*. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Chourasia, Dr Ekta. 2008. Colony Morphology (Macroscopic Features). King Saud University.
- Congeevaram, Shankar., Dhanarani, Sridevi., Joonhong, Park., Dexilin, Michael., Thamaraiselvi, Kaliannan. 2006. Biosorption of Chromium and Nickel by Heavy Metal Resistant Fungal and Bacterial Isolates. *School of Civil and Environmental Engineering, Seoul: Yonsei University*, 120-749.
- Darmuh, S., Arif, A., Taskirawati, I. 2018. Keragaman Jenis Jamur yang Menyerang Tanaman Mahoni (*Swietenia Macrophylla* KING) di Kampus Universitas Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan. *Perennial*, 14(1), pp. 9-16.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Desmukh, R., Khardenavis, A.A., Purohit, H.J., 2016. Diverse Metabolic Capacities of Fungi for Bioremediation. *Indian J Microbiol*, 56, 247-264.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2019. Sekilas Info TPST Piyungan. Diakses pada 1 Juni 2023, dari <https://dlhk.jogjaprovo.go.id/sekilas-info-tpst-piyungan>

- Dixit, R., Wasiullah., Malaviya, Deepti., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B.P., Rai, J.P., Sharma, P.K., Lade, H., Paul, D. 2015. Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability*, 7, 2189-2212.
- Dylia, D.O. 2021. Uji Potensi *Trichoderma asperellum* Sebagai Agen Biodegradasi Pewarna Tekstil Secara In Vitro. *Tugas Akhir*. Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Ebrahim, M.A., Kebede, G., Tafese, T., Kamaraj, M., & Assefa, F. 2021. Factors Influencing The Bacterial Bioremediation of Hydrocarbon Contaminants in The Soil: Mechanisms and Impacts. *Journal of Chemistry*.
- Ekamaida. 2017. Counting Total Bacterial in Land Organic Waste Household and Land Inorganic with Total Plate Count Method (TPC). *Agrisamudra, Jurnal Penelitian Vol. 4 No. 2 Juli-Desember 2017*.
- Elsababty, Z., Ali, A.M., & Houbraken, J. 2015. Cellulolytic and Pectinolytic Enzymes of Some Selected Heat Resistant Fungi. *J Microbiol Exp*, 2(2), 00042.
- Ezzouhri, L., Ruiz, E., Castro, E., Moya, M., Espinola, F., Cherrat, L., Er-Raiou, H., Lairin, K. 2010. Mechanism of Lead Uptake by Fungal Biomass Isolated from Heavy Metals Habitats. *AFINIDAD LXVII*, 545, Enero-Febrero 2010.
- Fard, M.P., Mahvi, A.H., Asgari, A., Moradina, M. 2017. Heavy Metals Monitoring in Leachate from Landfill Site of Qazvin, Iran. *Arch Hyg Sci*. 6(1), pp. 44-48.
- Gupta, E., Shrivastava, S. 2014. Mycoremediation: A Management Tool for Removal of Pollutants from Environment. *Environ Sci* 4:289-291.

- Harms, H., Schlosser, D., & Wick L.Y. 2011. Untapped Potential: Exploiting Fungi in Bioremediation of Hazardous Chemicals. *Nature Reviews, Microbiology*, 9, 177-192.
- Hesham, A.E., Kaur, Tanvir., Devi, R., Kour, D. 2021. Current Trend in Microbial Biotechnology for Agricultural Sustainability: Conclusion and Future Challenges. *Pp 555-572*.
- Iram, S., Zaman, A., Iqbal, Z., Shabbir, R. 2012. Heavy Metal Tolerance of Fungus Isolated from Soil Contaminated with Sewage and Industrial Wastewater. *Pol J Environ Stud 22:691-697*.
- Jalili, B., Othman, R., W, Samsuri A., Husin, A. 2012. Bioleaching of Heavy Metals from Mine Tailings by *Aspergillus fumigatus*. *Bioremediation Journal*, 16(2), 57-65.
- Junior, P.S.P.C., Cardoso, F.P., Martins, A.D., Buttros, V.H.T. 2020. Endophytic Bacteria of Garlic Roots Promote Growth of Micropropagated Meristems. *Microbiological Research 241 (2020) 126585*.
- Kim, W.K., Sang, H.K., Woo, S.K., Park, M.S., Paul, N.C., & Yu, S.H. 2007. Six Species of *Penicillium* Associated with Blue Molf of Grape. *Microbiology*, 35 (4), 180-185.
- Kurniawan, A., Ekowati, B., 2016. Review: Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia. Volume 3 Nomor 1, Juni 2016*.
- Lubis, S.S. 2019. Bioremediasi Logam Berat Oleh Fungi Laut. *AMINA Vol. 1 (2)*.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko., D.A. Stahl., D.P. Clark. 2012. Brock Biology of Microorganism 13th ed. Benjamin Cumming, San Francisco, CA.
- Male, Y.T., Seumahu, C.A., Malle, D. 2020. Bioremediation of Pb and Cd Metal from Inner Ambon Bay Sediment Which Contaminated with Heavy Metal Using *Aspergillus niger*. *Indo. J. Chem. Res, 2020, 7(2), 183-187*.

- Maria, L. 2000. Accumulation of Metals by Microorganism Processes and Importance of Soil Systems. *Earth Science Reviews, Vol. 51, No. 1-4, Elsevier, pp. 1-3, 2000.*
- Maulana, A., Supartono, & Mursiti, S. 2017. Bioremediasi logam Pb Pada Limbah Tekstil dengan *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6 (3). P-ISSN 225-6951, e-ISSN 2502-6844.
- Meitiniarti, V.I., Nugroho, R.A., Krave, A.S. 2014. Ragam Bakteri Pereduksi Krom dari Air Limbah Penyamakan Kulit dan Rhizosfer *Acalypha indica*. Fakultas Biologi Universitas Krissten Satya Wacana, Salatiga.
- Ni, Yan., Li, Chunxiu., Ma, Hongmin., Zhang, Jie. 2010. Biocatalytic Properties of a Recombinant Aldo-Keto Reductase with Broad Substrate Spectrum and Excellent Stereoselectivity. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 89. 1111-8. 10.1007/s00253-010-2941-4.
- Noverita. 2021. Biosorpsi Enam Jenis Jamur Makro Sumatera Barat Hasil Seleksi Terhadap Logam Berat Timbal (Pb). *Laporan Stimulus Penelitian Universitas Nasional.*
- Ogundiran, O.O. & T.A Afolabi. 2008. Assessment of The Physicochemical Parameters and Heavy Metals Toxicity of Leachate from Municipal Solid Waste Open Dumpsite. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 5(2), pp. 243-250.
- Oladipo, O.G., Awotoye, O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. 2018. Heavy Metal Tolerance Traits of Filamentous Fungi Isolated from Gold and Gemstone Mining Sites. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 29-37.
- Priadie, B. 2018. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan. Volume 10, Issue 1:38-38.*

- Rheisa, 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.
- Romani, A.M., Fischer, H., Mille-Lindblom, C., Tranvik, L.J. (2006). Interaction of Bacteria and Fungi on Decomposing Litter: Differential Extracellular Enzyme Activities. *Ecology* 87 (10):2559-2569.
- Said. 2010. Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) Di Dalam Air Limbah Industri. *JAI Vol. 6, No. 2*.
- Suderajat, D., Mulyana, N. 2017. Iradiasi Sinar Gamma Dosis Rendah Untuk Meningkatkan Kemampuan Fungi Dalam Mereduksi Logam Berat Pb dan Cd. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Vol. 13 No. 2 Desember 2017*.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval by Microorganism: A Literature Study). *Synergy Forum-PPI Tokyo Institute of Technology*.
- Suryani, Y., Taupiqurrahman, O., Kulsum, Y. 2020. Mikologi. PT. Freeline Cipta Granesia, Sumatera Barat.
- Vaseem, H., Singh, V.K., Singh, M.P. 2017. Heavy Metal Pollution Due to Coal Washery Effluent and its Decontamination Using a Macrofungus, *Pleurotus ostreatus*. *Ecotoxicol Environ Saf* 145:42-49.
- V. M. Kensa. 2011. Bioremediation – An Overview. *J. Ind. Pollut. Control*, Vol. 27, No. 2, pp. 161-168.
- 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.

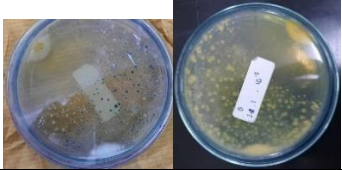

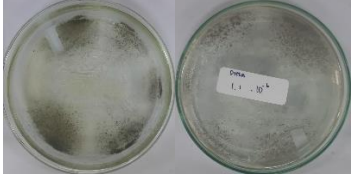
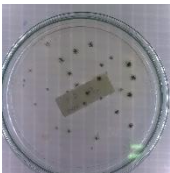
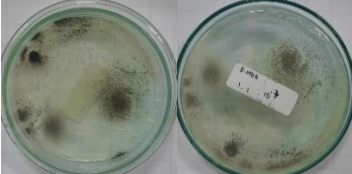
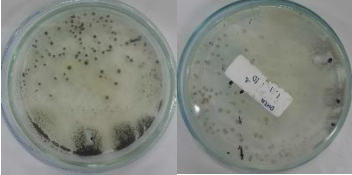
Yasanto, A. J. 2020. Karakteristik Pertumbuhan Jamur Pada Media PDA dengan Metode Pour Plate. *Indonesian Journal of Laboratory*, 2(1), 33-39.


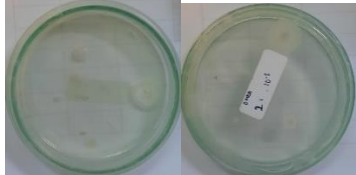
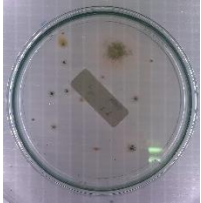
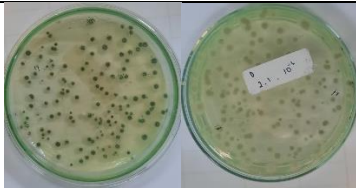
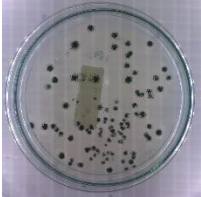
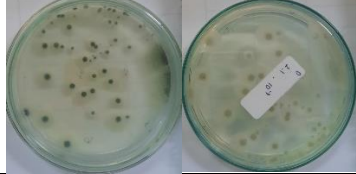
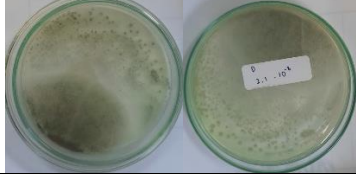
Yina K., Wang Q., I D., & Chena L. 2019. Microorganism Remediation Strategies Towards Heavy Metals. *Chemical Engineering Jurnal*, 360, 1553-1563.


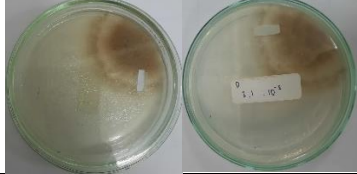
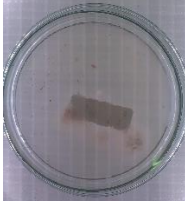
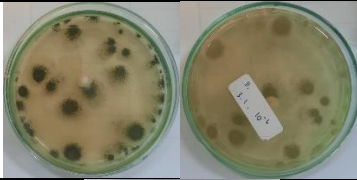



Zahid, M. 2010. Pemilihan Bahan Kimia yang Tepat Untuk Dekontaminasi Di Dalam Laboratorium. *Ulasan Ilmiah*.

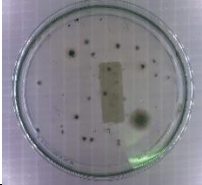
LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel hasil isolasi jamur dari TPA Piyungan

Kode Isolat	Karakteristik	Jumlah Koloni	Rata-Rata Koloni	Gambar
1.1 10 ⁻⁵	Kuning dengan pinggirannya putih	1	174,5	
	Putih	89		
	Hitam dengan pinggirannya putih	89		
1.2 10 ⁻⁵	Hitam dengan pinggirannya putih	170		
1.1 10 ⁻⁶	Hitam	6	17,5	
1.2 10 ⁻⁶	Hitam dengan pinggirannya putih	29		
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		
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	
	Hitam	32		
3.2 10 ⁻⁶	Hitam dengan pinggirannya putih	58		
3.1 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	7	43	
3.2 10 ⁻⁷	Hitam dengan pinggirannya putih	43		
3.1 10 ⁻⁸	Hitam dengan pinggirannya putih	Spreader	41	

3.2 10 ⁻⁸	Hitam dangan pinggiran putih	41			
----------------------	------------------------------	----	--	--	---

Sumber: Dokumen Pribadi

Perhitungan jumlah koloni jamur pada tiap pengenceran dapat dihitung sebagai berikut dengan mengikuti syarat yang kedua:

1. Nilai TPC Sampel Titik 1

$$\text{Pengenceran } 10^{-7} = 97 \times \frac{1}{10^{-7}}$$

$$\text{Pengenceran } 10^{-8} = 121,5 \times \frac{1}{10^{-8}}$$

maka,

$$= \frac{121,5 \times 10^8}{97 \times 10^7} = 12,5 > 2 \text{ menggunakan pengenceran}$$

lebih kecil

Jadi, nilai TPC sampel titik 1 adalah 121,5 x 10⁸ CFU/ml

2. Nilai TPC Sampel Titik 2

$$\text{Pengenceran } 10^{-7} = 121,5 \times \frac{1}{10^{-7}}$$

$$\text{Pengenceran } 10^{-8} = 139 \times \frac{1}{10^{-8}}$$

Maka,

$$= \frac{139 \times 10^8}{121,5 \times 10^7} = 11,4 > 2 \text{ menggunakan pengenceran}$$

lebih kecil

Jadi, nilai TPC sampel titik 2 adalah 139 x 10⁸ CFU/ml

3. Nilai TPC Sampel Titik 3

$$\text{Pengenceran } 10^{-7} = 43 \times \frac{1}{10^{-7}}$$

$$\text{Pengenceran } 10^{-8} = 41 \times \frac{1}{10^{-8}}$$

Maka,

$$= \frac{41 \times 10^8}{43 \times 10^7} = 9,5 > 2 \text{ menggunakan pengenceran paling}$$

kecil

Jadi, nilai TPC sampel 3 adalah 41 x 10⁸ CFU/ml

Lampiran 2. Perhitungan kebutuhan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Untuk pembuatan 200 ppm dalam 200 mL

$$= \text{ppm} \times v \times \frac{\text{Mr} (\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{\text{Ar Pb}}$$

$$= 200 \text{ ppm} \times 0,2 \text{ L} \times \frac{331,2}{207,2}$$

$$= 63,9 \text{ mg}$$

$$= 0,0639 \text{ gram}$$

Lampiran 3. Hasil perhitungan jumlah dan diameter koloni isolat jamur

Konsentrasi Timbal	Jamur	Hari							
		7		15		22		29	
		Jumlah Koloni	Diameter Koloni (cm)	Jumlah Koloni	Diameter Koloni (cm)	Jumlah Koloni	Diameter Koloni (cm)	Jumlah Koloni	Diameter Koloni (cm)
50 PPM	Isolat 1	32	1.25	34	1.6	29	1.6	27	1.6
	Isolat 2	9	2.15	9	2.65	9	2.7	8	2.95
	Isolat 3	1	2.05	1	3.6	1	4	1	4.5
	Isolat 4	1	1.35	1	2.55	16	3.05	23	3.2
	Isolat 5	1	2.4	1	6.65	1	6.65	2	6.65
	Isolat 6	51	2.45	53	2.6	53	2.65	56	2.8
	Isolat 7	1	2.35	1	6.65	1	6.7	1	6.7
	Isolat 8	31	1.45	31	2.05	31	2.6	31	2.6
100 PPM	Isolat 1	7	1.95	8	2.2	8	2.2	8	2.2
	Isolat 2	2	2.85	2	4.5	2	4.5	2	4.5
	Isolat 3	2	2.15	2	3.5	2	3.5	2	3.55
	Isolat 4	1	1.95	1	3.05	2	3.9	16	4.1
	Isolat 5	1	3	1	5.45	1	5.45	1	5.45
	Isolat 6	10	1.35	10	1.6	10	1.6	10	1.6
	Isolat 7	1	3.4	1	5	1	5.85	1	5.85
	Isolat 8	68	1.35	68	1.55	68	1.55	68	1.55
150 PPM	Isolat 1	16	1.9	16	2.4	15	2.75	15	2.75
	Isolat 2	2	3.05	3	5.15	3	5.35	3	5.35

Isolat 3	2	2.8	Kontaminasi	3.85	Kontaminasi	3.85	Kontaminasi	3.85
Isolat 4	52	1.85	89	1.8	85	1.8	83	1.8
Isolat 5	1	2.15	1	4.15	1	4.15	1	4.15
Isolat 6	23	1	25	1.3	25	1.3	23	1.3
Isolat 7	1	2.2	1	2.95	1	4.65	1	4.65
Isolat 8	27	1.65	30	2	30	2.05	30	2.05

RIWAYAT HIDUP

Diah Aqila Fadia Haya kerap dipanggil Ayya lahir di Kabupaten Semarang pada 25 September 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Muhyidin dan Alfiyah. Jenjang pendidikan yang ditempuh penulis dimulai di SDIT Assalamah Ungaran, SMP A. Wahid Hasyim Tebuireng Jombang dan SMA Trensains Tebuireng Jombang. Penulis diterima sebagai mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP UII pada tahun 2019. Kegiatan non akademik yang diikuti penulis selama menempuh pendidikan diantaranya: kepanitiaan (bergabung dalam divisi publikasi, dekorasi, dan dokumentasi), tim kerja Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan UII, dan staff organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) UII.

Pada Maret 2023, penulis diberi kesempatan untuk bergabung dalam penelitian yang digagaskan oleh Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. mengenai mikroorganisme jamur yang berasal dari tanah TPA Piyungan, Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.