

TUGAS AKHIR
ISOLASI BAKTERI *ENDOGEN* DAN *ENDOFIT* PADA
TANAH DAN AKAR TANAMAN *TYPHA LATIFOLIA*
UNTUK MENGOLAH AIR LINDI

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



FETRIA HIKMAWATI SUSILO
19513230

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

TUGAS AKHIR
ISOLASI BAKTERI *ENDOGEN* DAN *ENDOFIT* PADA
TANAH DAN AKAR TANAMAN TERKONTAMINASI
AIR LINDI TPA PIYUNGAN

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



FETRIA HIKMAWATI SUSILO
19513230

Disetujui,

Pembimbing 1


Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

NIK. 165131406

Tanggal: 23.10.2023

Pembimbing 2

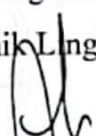

Annisa Nur Lathifah, S.Si.,
M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

NIK. 155130505

Tanggal: 23.10.2023

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Anv Juliani, S.T., M.Sc.(RES.Eng), Ph.D

NIK. 045130401

Tanggal: 27/10-23

HALAMAN PENGESAHAN

ISOLASI BAKTERI *ENDOGEN* DAN *ENDOFIT* PADA TANAH DAN AKAR TANAMAN *TYPHA LATIFOLIA* UNTUK MENGOLAH AIR LINDI

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: *Senin*
Tanggal: *23 Oktober 2023*

Disusun Oleh:

FETRIA HIKMAWATI SUSILO
19513230

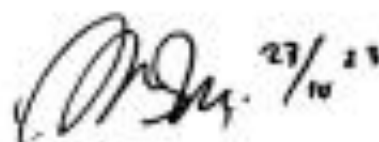
Tim Penguji:

Dr. Jomi Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.



23/10/23

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



23/10/23

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



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Fetria Hikmawati Susilo

NIM: 19513230

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Isolasi Bakteri *Endogen* dan *Endofit* pada Tanah dan Akar Tanaman *Typha latifolia* untuk Mengolah Air Lindi” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dengan maksud dan tujuan agar pembaca dapat menerima pengetahuan atau wawasan mengenai biodiversitas bakteri pada tanah dan akar tanaman tercemar air lindi. Selain itu, tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dari Program Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Kesempatan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini karena adanya dukungan dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT;
2. Bapak Heri Susilo dan Ibu Sutarmi selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
3. Mila Agassi dan Ertha Cahyaputra selaku saudara kandung penulis serta Syahbili Malik Adnan selaku keponakan yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan doa demi kelancaran tugas akhir ini;
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai;
5. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini;

6. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini;
7. Para dosen, pengajar, dan laboran yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia:
8. Teman-teman terbaik dan terdekat penulis Elen, Distya, Aryan, Diah Aqila, Sari, Sania, Emiliya, Khodijah, Rielsa, dan Anisa, yang selama ini senantiasa menemani, menghibur, mendukung, dan membantu penulis selama perkuliahan hingga tersusunnya tugas akhir ini;
9. Teman-teman Tim Weatland yang berjasa dalam penyelesaian tugas akhir ini Fina, Diana, dan Tito yang telah menemani, mendukung, membantu dari awal *sampling* hingga akhir penyusunan tugas akhir ini;
10. Teman-teman seperjuangan tugas akhir di Laboratorium Bioteknologi yang telah memberi bantuan dan semangat selama masa penelitian;
11. Teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan;
12. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Terlepas dari hal tersebut, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Pada penghujung prakata, penulis ingin meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat ucapan maupun perbuatan penulis yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

Fetria Hikmawati Susilo

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

FETRIA HIKMAWATI SUSILO. Isolasi Bakteri *Endogen* dan *Endofit* pada Tanah dan Akar Tanaman *Typha Latifolia* untuk Mengolah Air Lindi. Dibimbing oleh Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. dan Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Air lindi yang berasal dari TPA menjadi salah satu permasalahan bagi lingkungan maupun bagi kesehatan masyarakat, jika tidak terolah dengan baik. Air lindi yang diolah pada IPAL TPA umumnya masih mengeluarkan effluen yang belum memenuhi baku mutu yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan sifat bakteri yang terdapat dalam tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* untuk mengolah air lindi. Dari hasil isolasi bakteri terpilih 10 bakteri yakni 3 bakteri dari akar tanaman *Typha latifolia* dan 7 bakteri dari tanah yang digunakan untuk pengujian COD, amonia, dan warna pada air lindi. Bakteri terpilih diuji dengan dikontakkan dengan air lindi menggunakan sistem *batch* reaktor dengan volume air lindi sebanyak 350 mL selama 19 hari. Adapun karakteristik pada bakteri yang mampu mengolah parameter COD dengan persen *removal* tertinggi yakni 97% pada air lindi adalah bakteri S19 memiliki sifat gram negatif dan bentuk sel *Bacil*, bakteri Rd yang mampu mengolah amonia sebesar 98% yang memiliki sifat gram positif dan bentuk *Bacil*, serta bakteri S4 dan S13 yang mampu mereduksi zat warna tertinggi yakni 74% dengan sifat gram positif dan bentuk sel *Bacil*.

Kata Kunci : Air lindi, Amonia, Bakteri *endofit*, Bakteri *endogen*, COD, *Typha latifolia*

ABSTRACT

FETRIA HIKMAWATI SUSILO. *Isolation of Endogenous and Endophytic Bacteria in Soil and Typha Latifolia Plant Roots for Treating Leachate Water.*
Supervised by Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. and Annisa Nur Lathifah, S.Si.,
M.Biotech., M.Agr., Ph.D

Leachate water from landfill becomes one of the problems for the environment and for public health, if it is not treated properly. Leachate water treated at landfill WWTP generally still emits effluent that does not meet existing quality standards. This research aims to determine the characteristics and properties of bacteria found in the soil and roots of the Typha latifolia plant to process leachate. From the results of bacterial isolation, 10 bacteria were selected, 3 bacteria from the roots of the Typha latifolia plant and 7 bacteria from the soil which were used to test COD, ammonia and color in leachate water. Selected bacteria were tested by contacting leachate using a batch reactor system with a leachate volume of 350 mL for 19 days. The characteristics of the bacteria that is able to process COD parameters with the highest percent removal, namely 97% in leachate, is S19 bacteria which has gram negative properties and a Bacil cell shape, Rd bacteria which is able to process 98.3% of ammonia which has gram positive properties and Bacil form, as well as S4 dan S13 bacteria which are able to reduce the highest dye, namely 74% with gram-positive and Bacil cell form.

Key words : Amonia, COD, Leachat , Endophytic bacteria, Endogenous bacteria, Typha latifollia

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Asumsi Penelitian.....	3
1.6 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).....	6
2.2 Air Lindi.....	7
2.3 Kemampuan Bakteri dalam Mengolah Air Lindi.....	9
2.4 Isolasi Bakteri.....	9
2.5 Identifikasi Bakteri.....	10
2.6 Bakteri Endofit.....	11
2.7 Typha Latifolia.....	12
2.8 Wetland.....	13
2.9 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Alur Penelitian.....	19
3.4 Isolasi bakteri.....	21

3.4.1 Floating Wetland.....	21
3.4.2 Isolasi Bakteri Endogen	23
3.4.3 Isolasi Bakteri Endofit	24
3.5 Identifikasi Morfologi Bakteri	27
3.6 Pewarnaan Gram	29
3.7 Kultur Bakteri.....	31
3.8 Running Reaktor	33
3.9 Pengujian Kemampuan Bakteri	35
3.10 Analisis Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Identifikasi Bakteri.....	43
4.1.1 Bakteri Terpilih	46
4.2 Hasil Pengecekan Kondisi Air Lindi Harian.....	48
4.3 Analisa Parameter COD, Amonia dan Nilai warna pada Air Lindi	53
4.3.1 Konsentrasi COD pada air lindi	54
4.3.2 Konsentrasi Amonia pada air lindi.....	60
4.3.3 Konsentrasi Warna pada air lindi	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	85
RIWAYAT HIDUP.....	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 3. 1 Jumlah bakteri untuk pengolahan air lindi.....	34
Tabel 3. 2 Komposisi reaktor.....	34
Tabel 3. 3 Standar uji air limbah.....	35
Tabel 3. 4 Baku mutu air limbah yang berlaku.....	41
Tabel 4. 1 Morfologi bakteri endogen pada sampel tanah terkontaminasi air lindi TPA Piyungan.....	44
Tabel 4. 2 Morfologi bakteri endofit pada sampel akar <i>Typha latifolia</i>	46
Tabel 4. 3 Hasil morfologi dan identifikasi sifat gram bakteri terpilih.....	47
Tabel 4. 4 Hata hasil pengecekan harian parameter selama pengolahan	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Denah lokasi sampling air lindi di IPAL TPA Piyungan	18
Gambar 3. 2 Bagan penelitian.....	20
Gambar 3. 3 Desain reaktor floating wetland	21
Gambar 3. 4 Kondisi awal aklimatisasi tanaman <i>Typha latifolia</i>	22
Gambar 3. 5 Tahapan ekstraksi dan isolasi bakteri endogen dari tanah terkontaminasi.....	23
Gambar 3. 6 Tahapan pencucian akar tanaman <i>Typha latifolia</i>	25
Gambar 3. 7 Tahapan isolasi bakteri endofit dari akar tanaan <i>Typha latifolia</i>	26
Gambar 3. 8 Morfologi bakteri	27
Gambar 3. 9 Tahapan pemurnian bakteri endogen dan endofit terpilih dengan metode Streak Plate.....	28
Gambar 3. 10 Tahapan pewarnaan gram bakteri endogen dan endofit.....	30
Gambar 3. 11 Tahapan kultur bakteri endogen dan endofit.....	32
Gambar 3. 12 (1) Desain reaktor (2) Reaktor yang digunakan selama proses pengolahan air lindi.....	33
Gambar 3. 13 Tahapan uji warna pada air lindi	37
Gambar 3. 14 Tahapan uji COD pada air lindi	38
Gambar 3. 15 Tahapan pembuatan kurva kalibrasi uji amonia pada air lindi.....	39
Gambar 3. 16 Tahapan uji amonia dalam air lindi.....	40
Gambar 4. 1 Kelimpahan macam bakteri endogen hasil isolasi sampel tanah terkontaminasi air lindi TPA Piyungan.....	43
Gambar 4. 2 Kelimpahan macam bakteri endofit hasil isolasi sampel akar <i>Typha latifolia</i> terkontaminasi air lindi TPA Piyungan	45
Gambar 4. 3 Grafik hasil uji DO.....	50
Gambar 4. 4 Grafik pengujian COD oleh bakteri endogen.....	54
Gambar 4. 5 Grafik removal cod oleh bakteri endogen	56
Gambar 4. 6 Grafik pengujian COD oleh bakteri endofit.....	58
Gambar 4. 7 Grafik removal COD oleh bakteri endofit	59
Gambar 4. 8 Grafik pengujian amonia oleh bakteri endogen	60

Gambar 4. 9 Grafik removal amonia oleh bakteri endogen	62
Gambar 4. 10 Grafik pengujian amonia oleh bakteri endogen	63
Gambar 4. 11 Grafik removal amonia oleh bakteri endofit	65
Gambar 4. 12 Hasil pengujian warna oleh bakteri endogen	66
Gambar 4. 13 Grafik removal oleh bakteri endogen.....	68
Gambar 4. 14 Grafik pengujian warna oleh bakteri endogfit.....	69
Gambar 4. 15 Grafik removal warna oleh bakteri endofit	70

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai Optical Dencity Kultur Bakteri.....	85
Lampiran 2 Morfologi Bakteri Endogen Terpilih.....	85
Lampiran 3 Hasil Pewarnaan Gram Bakteri Endogen	89
Lampiran 4 Hasil Pewarnaan Gram Bakteri Endofit	91
Lampiran 5 Hasil Uji COD Minggu 1.....	92
Lampiran 6 Hasil Uji COD Minggu 2.....	93
Lampiran 7 Hasil Uji Amonia Minggu 1	93
Lampiran 8 Hasil Uji Amonia Minggu 2	94
Lampiran 9 Hasil Uji Amonia Minggu 3	94
Lampiran 10 Hasil Uji Warna Minggu 1	95
Lampiran 11 Hasil Uji Warna Warna Minggu 2.....	95
Lampiran 12 Hasil Uji Warna Minggu 3	96
Lampiran 13 Proses Kultur Bakteri.....	97
Lampiran 14 Proses Pencucian Akar Typha Lathifolia	98
Lampiran 15 Kondisi Akar Tanaman Setelah Kontak dengan Air Lindi.....	98
Lampiran 16 Kondisi Tanaman saat Aklimatisasi	99
Lampiran 17 Pengujian Fisik pada Reaktor	99
Lampiran 18 Hasil Inkubasi Air Cucian Akar	100
Lampiran 19 Hasil Inkubasi Bakteri Endofit	100
Lampiran 20 Hasil Inkubasi Bakteri Endogen	100

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan yang sering terjadi di wilayah sekitar tempat pemrosesan akhir (TPA) adalah pencemaran akibat air lindi. Air lindi merupakan air hasil pemaparan air hujan melalui proses infiltrasi maupun perkolasi dengan sampah yang telah terdekomposisi dan mengandung padatan halus serta mikroorganisme patogen. Air lindi dapat mencemari lingkungan dengan mengalir melalui aliran air atau *run off* maupun masuk ke dalam tanah dengan proses infiltrasi (Muhshanti, 2021).

Air lindi yang berasal dari TPA mengandung berbagai macam mikroorganisme, zat organik, maupun anorganik (Pusporini, 2016). Air lindi memiliki konsentrasi COD, BOD, amonia, maupun logam berat yang tinggi. Air lindi juga mengandung berbagai macam bakteri patogen seperti *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella penumonia*, *Streptococcus pyogenes*, *Clostridium perferingest*, dan *Clostridium botulinum* (Remmas, 2017) serta bakteri yang bermanfaat seperti *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescen*, *Bacillus sp.*, dan *Pseudomonas sp.* (Suhendrayatna, 2001).

Kandungan air lindi yang beragam membuat air lindi yang masuk ke lingkungan tanpa pengolahan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan maupun mengganggu kesehatan masyarakat (Narendra, 2011). Upaya penurunan kandungan berbahaya dalam air lindi dapat dilakukan dengan pengolahan air lindi melalui IPAL yang berada di TPA. Namun terkadang pengolahan air lindi pada IPAL TPA masih menghasilkan effluent yang belum sesuai dengan baku mutu yang ada.

Kandungan air lindi yang beragam dapat menyebabkan pencemaran jika masuk ke lingkungan. Air lindi menyebabkan pencemaran yang berdampak pada tanah dan kehidupan di dalamnya. Tanah merupakan tempat untuk hidup berbagai mikroorganisme yang melakukan berbagai macam kegiatan menguntungkan bagi kehidupan dan memungkinkan bagi kelanjutan siklus kehidupan makhluk alami

(Sutedjo, 1991). Namun terdapat beberapa bakteri yang mampu bertahan pada tanah yang tercemar air lindi. Hal ini diakibatkan karena beberapa bakteri dalam tanah mampu menggunakan energi dari proses reduksi maupun oksidasi logam serta degradasi senyawa berbahaya untuk pertumbuhannya (Pusporini, 2016).

Selain pada tanah, air lindi juga dapat merusak dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Tanaman yang terkena air lindi berlebihan mengalami keracunan akibat kandungan zat organik yang tinggi (Ali, 2021). Namun beberapa tanaman justru mampu bertahan dan mampu mengolah air lindi, seperti *Phragmites mauritianus*, *Typha latifolia*, *Nymphaea spontanea*, *Cyperus papyrus*, *Typha angustifolia*, *Limnocharis flava*, *Eichornia crasipes*, *Pistia stratiotes*, *Cyperus haspan*, *Scirpus sumatrensis*, *Scirpus mucronatus*, *Phragmites australis*, dan *Glyceria maxima* (Fajariyah & Mangkoedihardjo, 2017). Hal ini disebabkan karena tanaman mengandung bakteri *endofit* pada bagian akar tanaman yang juga mampu mengurai zat berbahaya (Aisyah, 2020). Bakteri akar yang mampu mendegradasi polutan tercemar mampu bertahan dan memanfaatkan senyawa untuk kebutuhan hidup sehingga mampu meningkatkan sistem pertahanan tanaman terhadap gangguan penyakit. Dengan memanfaatkan metode manajemen lingkungan, kemampuan bakteri dalam tanah maupun akar tanaman terkontaminasi air lindi dapat dioptimalkan sehingga kandungan pencemar dalam lingkungan dapat menurun hingga ambang batas yang sesuai dengan peruntukannya (Pusporini, 2016).

Bakteri yang mampu bertahan dalam tanah dan akar tanaman dapat dimanfaatkan sebagai agen remediasi. Untuk mendapatkan bakteri pada akar maupun tanah tercemar dapat menggunakan *Floating Treatment Wetland (FTW)*. FTW merupakan teknologi yang menggunakan mikroba dan tumbuhan mengambang sehingga akar dari tumbuhan memanjang dalam air dan mampu menyerap nutrisi hidroponik. FTW ini mampu mendukung proses pertumbuhan mikroba. FTW ini dapat digunakan sebagai media untuk mendapatkan bakteri dari tanah dan akar tanaman. Tanaman dan tanah yang berada dalam FTW dikontaminasikan dengan air lindi dengan begitu bakteri dalam tanah dan akar tanaman dapat tumbuh dengan mendapatkan nutrisi yang berada dalam air lindi

(Stewart, 2008). Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan dalam Floating Wetland yang mempunyai kemampuan melakukan penurunan kualitas air lindi adalah *Typha latifolia*. Tumbuhan ini mampu menurunkan kandungan BOD, COD, dan TSS dalam air lindi (Suhendrayatna, 2012)

Oleh karena itu penelitian ini diperlukan untuk mengetahui biodiversitas atau keanekaragaman bakteri serta kemampuan bakteri yang hidup pada tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* untuk mengolah air lindi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah

- 1) Apa saja jenis bakteri pada tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* yang digunakan untuk mengolah air lindi?
- 2) Bagaimana karakteristik morfologi bakteri yang berpotensi mendegradasi kandungan polutan air lindi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

- 1) Mengidentifikasi jenis bakteri pada tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* yang digunakan untuk mengolah air lindi.
- 2) Menganalisis jenis bakteri potensial yang mampu mengolah polutan dalam air lindi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

- 1) Sebagai informasi mengenai jenis bakteri yang terdapat dalam tanah dan akar yang terkontaminasi air lindi.
- 2) Sebagai informasi mengenai karakteristik bakteri yang berpotensi dalam mengolah polutan dalam air lindi.
- 3) Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya di bidang yang sama.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi dari penelitian ini adalah jenis bakteri yang terdapat dalam tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* merupakan jenis bakteri yang mampu mengolah

polutan yang terkandung dalam air lindi, sehingga bakteri memiliki potensi sebagai agen bioremediasi.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah

- 1) Tanah dan akar tanaman yang diteliti adalah tanah dan akar dari tanaman *Typha latifolia* yang dikontaminasikan air lindi dari unit pengolahan air lindi di TPA Piyungan.
- 2) Parameter yang diuji adalah bakteri pada tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* yang terkontaminasi air lindi.
- 3) Pengambilan sampel air lindi dilakukan pada unit pengolahan air lindi TPA Piyungan.
- 4) Analisis dan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah identifikasi bakteri dengan mengisolasi dan mengekstraksi sampel yang diambil kemudian menumbuhkan bakteri yang terdapat dalam sampel pada media agar sehingga morfologi dan jenis dari bakteri dapat diketahui. Bakteri yang tumbuh membentuk koloni kemudian dilakukan pengecatan gram untuk diketahui sifat gram dan bentuk selnya.
- 5) Untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam mengolah air lindi, maka dilakukan pengujian bakteri terhadap kandungan COD, amonia, dan warna serta pengecekan terhadap parameter suhu, DO, pH, EC, ORP, dan TDS dalam reaktor sistem *batch* berisi air lindi dan bakteri terpilih.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 81 tahun 2021 tentang pengolahan sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan. Salah satu sampah yang ada di D.I. Yogyakarta adalah TPA Piyungan. TPA Piyungan terletak di di Dusun Ngablak dan Watugender, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, kurang lebih 16 km sebelah tenggara pusat kota Yogyakarta (Kasam, 2011). TPA ini mulai beroperasi sejak tahun 1996 oleh Pemda DIY dan mulai Tahun 2000 dikelola oleh Sekretariat Bersama (Sekber) Kartamantul berdasarkan Keputusan Gubernur No. 18. Tahun 2000. TPA ini masih difungsikan karena masih belum memiliki lokasi baru untuk dibangunnya lahan TPA baru. TPA Piyungan menampung dan mengolah limbah dari 3 daerah yakni Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Sleman. TPA ini dikelola bersama dari ketiga daerah dengan koordinasi bersama.

Sejak mulai beroperasi dingga tahun 2012, TPA Piyungan menggunakan metode *open dumping* dalam pengelolaan sampah, hal ini mengakibatkan sampah yang masuk ke TPA menjadi menggunung dan menimbulkan permasalahan lingkungan seperti timbulnya bau yang tidak sedap, tercemarnya air, tanah serta udara, serta mengganggu estetika lingkungan sekitar TPA (Damanhuri & Padmini, 2008). Sehingga pada 2012 TPA mulai menerapkan pengelolaan sampah dengan metode *sanitary landfill*. Berdasarkan PP RI No. 81 2012, *sanitary landfill* adalah arena pengurugan sampah ke lingkungan yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurugan, serta penutupan sampah setiap hari. Dengan metode ini, air yang dihasilkan oleh sampah dapat terkumpul dan dikelola sehingga kandungan didalamnya tidak menyebar ke lingkungan sekitar.

2.2 Air Lindi

Air lindi merupakan lelehan hasil degradasi sampah yang berasal dari limpasan air hujan yang dapat menimbulkan pencemaran apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan (Dayat, 2017). Secara umum lindi adalah limbah cair dari suatu tempat penimbunan sampah padat atau air rembesan dari hasil dekomposisi sampah padat yang terakumulasi pada suatu timbunan sampah yang mengandung sejumlah zat-zat kimia beracun, bakteri patogen, senyawa organik, dan konstituen lainnya yang terlarut dan tersuspensi di dalam tanah (Aminati, 2006). Air lindi dapat meresap ke dalam tanah yang mampu menyebabkan pencemaran baik pada tanah maupun air tanah. Hal ini terjadi akibat dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia amorganik dan organik serta bakteri patogen (Susanto, 2004).

Proses adanya lindi dapat terjadi karena dua hal, yaitu cairan yang berasal dari sampah itu sendiri dan cairan yang berasal dari luar, terutama dari air hujan yang jatuh ke lokasi penimbunan sampah. Cairan tersebut kemudian akan mengisi rongga-rongga pada sampah dan bila kapasitasnya sudah melebihi kapasitas tekanan air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar sebagai cairan lindi. Salah satu hasil dari rangkaian proses di atas adalah terbentuknya lindi yang berupa cairan. Kuantitas lindi yang ditimbulkan oleh timbunan sampah padat pada suatu tempat pembuangan akhir dipengaruhi oleh (Aminati, 2006):

1. Peresipitasi atau aliran permukaan yang berinfiltrasi ke dalam timbunan.
2. Air tanah dari sumber lain yang bergerak dalam arah horizontal melalui tempat penimbunan.
3. Kandungan sampah.
4. Air dari proses dekomposisi bahan organik pada sampah.

Air lindi ini merupakan akumulasi dari air rembesan hasil dekomposisi sampah padat pada timbunan sampah. TPA yang digunakan sebagai tempat penampungan berbagai macam sampah mengandung berbagai macam pencemar yang berpotensi mengganggu lingkungan maupun kesehatan manusia (Sari, 2017). Timbunan sampah dan air lindi memiliki dampak buruk terhadap kualitas air di

lingkungan. Air lindi dinyatakan sebagai sumber utama polusi pada air tanah maupun permukaan. Hal ini disebabkan karena air lindi dihasilkan dari proses leaching atau percolation yang mana prosesnya terjadi dimana air mengalami perkolasi (masuk atau menembus) melalui material yang bersifat organik (Himmah dkk, 2009). Kandungan air lindi terdiri atas zat organik, anorganik maupun logam. Salah satu pengukuran parameter terhadap zat organik adalah COD. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diuraikan secara kimia dengan oksidator kuat kalium bikromat, sehingga segala macam bahan organik mudah dan sulit terurai akan teroksidasi (Atima, 2015). Kandungan COD dalam air lindi berkisar 150-100.000 mg/l. Konsentrasi zat organik yang tinggi pada air lindi membuat air lindi tidak boleh diolah secara sembarangan (Machdar, 2008). Parameter COD dianggap indikator paling kuat pencemar limbah organik dalam air dibandingkan parameter lain seperti BOD (Setyaningrum dkk, 2022).

Kandungan bahan organik seperti BOD dan COD dapat mempengaruhi intensitas warna dalam air lindi. Warna air lindi pekat dan berbau busuk menandakan adanya asam organik yang berasal dari tingginya bahan organik seperti BOD dan COD (Muhshanati, 2021). Warna termasuk parameter fisika yang menyebabkan terganggunya proses fotosintesis di dalam air serta keindahan dan kenyamanan yang disebabkan oleh bau H₂S dari pembusukan bahan organik secara anaerobik (Effendi, 2003).

Selain kandungan COD, air lindi juga memiliki kandungan amonia yang tinggi. Amonia dalam air berbentuk NH₄ atau amonium. Kandungan amonia yang tinggi ini dapat disebabkan karena amoniak dalam air dapat terbentuk dari hasil penguraian secara mikrobiologis zat organik (Widayat dkk, 2010). Sehingga amonia yang terbentuk akibat penguraian zat organik dalam tumpukan sampah dapat terbawa oleh air sehingga terbentuk air lindi yang memiliki kandungan amonia di dalamnya. Konsentrasi amonium dalam air lindi mencapai 500 mg/L pada TPA dengan masa operasional 10 tahun (Trobi dkk, 2015).

2.3 Kemampuan Bakteri dalam Mengolah Air Lindi

Dalam unit pengolahan air lindi, pengolahan air lindi secara biologis memanfaatkan mikroorganisme terutama bakteri dalam menguraikan senyawa polutan. Hal ini dikarenakan dalam perkembangbiakan bakteri memerlukan sumber energi, karbon, maupun elemen anorganik seperti natrium, magnesium, kalium, fosfor, dan sulfur (Said, 2015). Dalam hal inilah bakteri memerlukan sumber energi karbon dan nutrisi ini diserap dari polutan yang ada dalam air lindi, sehingga polutan dalam air lindi dapat diuraikan.

Dalam air lindi terdapat beberapa bakteri di dalamnya, adapun kandungan bakteri yang diidentifikasi terdiri dari beberapa genus bakteri aerob seperti *Streptococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas* dan *Proteus*. Kandungan mikroorganisme limbah cair domestik juga didominasi oleh mikroorganisme patogen seperti virus, cacing parasit, protozoa parasit dan lainnya yang dapat mengakibatkan terjangkitnya penyakit bawaan air terhadap manusia (Fikri, dkk, 2017).

Mikroorganisme seperti bakteri yang diambil dari tanah maupun tanaman tercemar air lindi dapat digunakan sebagai agen remediasi. Hal ini karena tanah yang telah tercemar air lindi dapat digunakan oleh mikroorganisme seperti bakteri untuk tempat hidup. Beberapa mikroba mampu menggunakan energi dari proses oksidasi/reduksi logam maupun senyawa berbahaya untuk pertumbuhan dan hidupnya. Bakteri yang ditemukan pada tanah maupun akar tanaman tercemar dapat dimanfaatkan dalam bioremediasi untuk mengurangi zat berbahaya dalam air lindi (Rabbani, 2022).

2.4 Isolasi Bakteri

Mikroorganisme pada suatu lingkungan alami merupakan populasi campuran dari berbagai jenis mikroorganisme pada tanah, air, udara, makanan, maupun yang terdapat pada tubuh hewan dan tumbuhan (Sabbathani dkk, 2017). Pemisahan mikroorganisme diperlukan untuk mengetahui jenis, mempelajari kultural, morfologi, fisiologi, dan karakteristik mikroorganisme tersebut. Teknik pemisahan tersebut disebut isolasi yang disertai dengan pemurnian. Isolasi

merupakan serangkaian proses pemisahan mikroorganisme supaya didapatkan kultur murni (isolat). Isolat-isolat tersebut kemudian ditumbuhkan pada medium terpisah supaya dapat tumbuh dengan baik. Medium pertumbuhan bakteri harus diperbarui setiap 6 bulan supaya sumber nutrisi bagi bakteri tetap terpenuhi sehingga bakteri tidak mengalami kematian. Pindahan bakteri dari satu tempat ketempat yang lain harus menggunakan prosedur kerja aseptik. Aseptik berarti berada dalam kondisi yang bebas dari mikroorganisme lain yang tidak dikehendaki. Teknik aseptik sangat penting jika bekerja di laboratorium mikrobiologi, selain melindungi laboran juga menghindari kontaminasi mikroorganisme lain (Singlenton & Sainsbury, 2006).

Bakteri yang terdapat di alam atau lingkungan merupakan gabungan dari berbagai jenis bakteri sehingga memerlukan proses isolasi untuk memperoleh bakteri yang diinginkan. Proses isolasi dilakukan dengan cara mengambil sampel bakteri dari sumber atau lingkungan. Selanjutnya bakteri tersebut akan dilakukan kultur dengan menggunakan media selektif sehingga memperoleh biakan murni. Bakteri yang dikultur dapat dibuakkan dengan cara sebaratau spread plate metode, cara tabur atau pour plate metode dan cara mengoleskan suspen bakteri ke permukaan media agar di cawan petri menggunakan jarum ose atau *streak plate method* (Maharani, 2021). Pada prinsipnya isolasi bakteri ini digunakan untuk memisahkan satu jenis mikroba dengan yang lainnya yang berasal dari campuran berbagai macam mikroba (Afrianto, 2004).

2.5 Identifikasi Bakteri

Identifikasi merupakan cara untuk mengetahui nama ilmiah suatu makhluk hidup dalam suatu kelompok tertentu berdasarkan karakteristik persamaan dan perbedaan yang dimiliki oleh masing-masing makhluk hidup. Identifikasi suatu isolat bakteri yang diperoleh dari hasil isolasi dapat dilakukan melalui pengamatan morfologi, dan pengujian fisiologi isolat bakteri yang dilanjutkan dengan membandingkan hasil pengamatannya dengan ciri-ciri mikroorganisme yang sudah dikenal. Identifikasi mikroorganisme yang baru diisolasi memerlukan

perincian, deskripsi dan perbandingan dengan deskripsi mikroorganisme tertentu yang telah dipublikasikan untuk jasad-jasad renik lain yang serupa (Pelczar & Chan, 2008). Proses identifikasi bakteri secara konvensional berdasarkan fenotip bakteri seperti pewarnaan gram, morfologi maupun aktivitas enzim seringkali tidak bersifat statis dan dapat berubah seiring adanya evolusi. Hal ini menimbulkan kesalahan akibat adanya fenotip bakteri yang tidak biasa maupun kurangnya pengalaman dalam menginterpretasikan data karakter fenotip (Petti dkk, 2005).

Setiap bakteri memiliki karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Identifikasi bakteri dapat dilihat dengan memalui morfologi dari bakteri. Identifikasi bakteri morfologi dapat dilakukan dengan dua pengamatan yakni makroskopis dan mikroskopis. Untuk pengamatan makroskopis dapat dilakukan dengan pengamatan melalui koloni yang terbenyuk, yakni berdasarkan *shape, margin, elevation, size, apperance, optical property, texture, pigmentation*. Sedangkan untuk pengamatan mikroskopis salah satunya dapat dilakukan pengamatan dengan uji gram bakteri. Untuk mengetahui sifat gram maupun bentuk dari sel yang pada koloni yang terbanyak dilakukan dengan menggunakan mikroskop (ATTC, 2021).

2.6 Bakteri *Endofit* dan Bakteri *Endogen*

Endofit berasal dari bahasa Yunani “endo” yang memiliki arti di dalam dan “phyton” yang berarti tanaman. Bakteri *endofit* merupakan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri yang berada dalam bagian endosfer tanaman yang tidak menyebabkan kerusakan bagian inang (Kandel, 2017). Bakteri ini hidup pada jaringan tanaman yang mana merupakan komponen penting dalam tanaman inangnya (Priya & Mini, 2011). Bakteri endofit merupakan beakteri yang berkolonisasi pada jaringan dalam tanaman tanpa menunjukkan adanya infeksi maupun pengaruh terhadap inangnya (Ryan dkk, 2007). Bakteri *endofit* dalam tanaman akan menurunkan tingkat toksisitas dengan degradasi polutan dalam tanaman sehingga bakteri ini memperoleh nutrisinya. Sehingga bakteri ini diharapkan mampu meningkatkan sistem pertahanan tanaman dalam gangguan penyakit karena kemampuannya untuk memproduksi senyawa antimikrob, enzim,

asam salisilat, etilena, dan senyawa sekunder lainnya yang berperan menginduksi ketahanan tanaman (Backman & Sikora, 2008).

Endogen memiliki arti di dalam atau berasal dari dalam. Bakteri endogen atau endogenous atau indogenous merupakan bakteri yang secara alami berasal dari alam bebas (Ismail, 2020). Sehingga bakteri endogen tanah merupakan bakteri yang secara alami berasal dari tanah. Bakteri endogen ini dapat dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi pada lingkungan yang tercemar. Bakteri ini diambil dari tanah tercemar kontaminan memiliki potensi sebagai agen bioremediasi. Hal ini disebabkan karena bakteri endogen tersebut telah mengalami proses adaptasi habitat yang tercemar (Yazid, 2014).

2.7 Typha Latifolia

Typha latifolia merupakan salah satu tanaman liar berbentuk rumput, berbatang tinggi, berdaun tebal, dan tidak memiliki tulang daun. *Typha latifolia* ini sering dijumpai dalam lahan basah dan dapat hidup pada daerah yang rawan akan zat pencemar, memiliki daya tahan hidup yang tidak mudah mati serta memiliki akar serabut yang mampu meresap air, kandungan mineral, zat hara, dan tahan terhadap racun (Muhshannti, 2021). *Typha latifolia* ini memiliki aroma asap yang khas ketika dibakar sehingga dapat digunakan sebagai pengusir nyamuk. *Typha latifolia* ini menggunakan tanah berjenis *hydric soil* atau tanah yang tergenang air untuk dapat melangsungkan hidup. Guna mendukung pertumbuhannya, tanaman ini membutuhkan air yang banyak demi keberlangsungan sistem biotik karena banyak hewan yang hidup di lahan *Typha latifolia* (Disyamto, 2014).

Typha latifolia ini merupakan tumbuhan yang diketahui mampu dalam menurunkan konsentrasi COD, BOD, dan TSS pada limbah domestik. Tanaman ini juga mampu meningkatkan rasio BOD/COD pada efluent lindi. Rasio BOD/COD merupakan level degradasi yang menggambarkan dampak output bahan organik yang ada dalam air, air limbah, lindi maupun kompos (Mangkoedihardjo, 2010). Selain penurunan kandungan organik dalam air tanaman ini mampu menyerap kandungan logam pada air limbah (Suhendrayatna, 2012).

2.8 Wetland

Wetland atau lahan basah merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan bantuan tumbuhan (Afifah dan Sarwoko, 2018). Dengan penerapan teknologi *wetland* pada air limbah ini maka akan mampu meningkatkan kualitas air limbah. Proses peningkatan kualitas air limbah pada *wetland* dilakukan secara biologis dengan bantuan mikroorganisme, proses kimia, maupun proses fisika. Salah satu jenis *wetland* adalah FTW (*Floating Treatment Wetland*). Jenis *wetland* ini menggunakan tanaman ditanam dan tumbuh pada suatu media yang mengapung. Dengan cara ini maka akar dari tanaman akan dapat berkembang dan menggantung bebas didalam air, dan daun muncul di permukaan (Pusparinda dan Irwan, 2016).

FTW merupakan salah satu inovasi lahan basah untuk pengolahan secara biologi dengan memanfaatkan tanaman sebagai agen fitoremediasi dalam menurunkan bahan pencemar dalam air (Kamilah, 2021). Proses pengolahan kandungan berbahaya pada air lindi dengan proses fitoremediasi ini dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan, baik dalam bentuk pohon, tanaman air, maupun rerumputan. Proses Fitoremediasi ini dilakukan dengan memanfaatkan simbiosis pada mikroorganisme di tanah dan akar tanaman (Usman dan Santosa, 2014). Mikroorganismenya yang berada dalam tanah maupun akar tanaman akan melakukan degradasi, penghancuran, inaktivasi maupun imobilitas polutan berbahaya menjadi tidak berbahaya (Muryani dan Ika, 2018). Proses tersebut dilakukan mikroorganisme untuk dapat tumbuh dan memertahankan hidup. Sehingga dengan menggunakan FTW ini dapat menumbuhkan mikroorganisme yang mampu mengolah air lindi.

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu mengenai biodiversitas bakteri tanah dan akar dalam menurunkan konsentrasi air lindi:

Tabel 2. 1 Data penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian
1	Biodiversitas Bakteri Pada Tanah Tercemar Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Supit Urang Kota Malang	Pusporini, 2016	Identifikasi secara makroskopis meliputi pengamatan bentuk, warna, bentuk tepian, elevasi, dan kenampakan koloni. Identifikasi mikroskopis meliputi pewarnaan gram, pewarnaan endospora, dan uji motilitas. Uji biokimia yang dilakukan untuk karakterisasi selanjutnya adalah uji katalase, uji oksidase, dan kebutuhan oksigen bakteri. Berdasarkan hasil identifikasi 22 isolat bakteri pada tanah tercemar air lindi secara makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia dapat dikelompokkan dalam 7 genus yakni : <i>Bacillus sp</i> , <i>Pseudomonas sp</i> , <i>Listeria sp</i> , <i>Salmonella sp</i> , <i>Corynebacterium sp</i> , <i>Shigella sp</i> , dan <i>Staphylococcus sp</i>
2	Potensi Bioremediasi dengan Pemanfaatan Bakteri Indigenous dalam menurunkan Nilai BOD-COD limbah air TPST Piyungan	Rabani, 2022	Penelitian dilakukan dengan pendekatan studi literatur mengenai bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri. Dari penelitian ini bakteri indigenous sebagai agen bioremediator berpotensi mengurangi nilai BOD-COD dengan menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya

No	Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian
3	Penurunan Intensitas Warna Lindi TPA Regional Blang Bintang dengan Proses Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Ekor Kucing (<i>Typha Latifolia</i>)	Muhshanati, 2021	Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh dan efisiensi penurunan warna, Fe, BOD, COD, dan pH pada air lindi. Tanaman ekor kucing digunakan untuk mengolah air lindi dengan waktu kontak selama 21 hari dalam <i>Constructed Wetland</i> . Efisiensi penurunan pencemar menggunakan tanaman dengan waktu kontak 21 hari mampu menurunkan intensitas warna sebesar 74,04%, Fe sebesar 99,99%, BOD sebesar 97,64%, COD sebesar 82,14%
4	Fikoremediasi Kualitas Lindi TPA Jatibarang Terhadap Efektifitas <i>Lemna minor L</i> dan <i>Ipomoea aquatikca Frokks</i>	Nofiyanto, 2019	Penelitian dilakukan untuk mengetahui fikoremediasi kualitas lindi TPA Jatibarang terhadap efektifitas <i>Lemna minor L</i> dan <i>Ipomoea aquatikca Forssk</i> . Hasil penelitian menunjukkan terdapat fitoplankton yang mampu hidup di lindi yaitu <i>Chlorella sp</i> yang dapat di jadikan fikoremediasi kualitas air lindi. Penurunan BOD, COD dan TSS paling tinggi terjadi pada hari kelima dan keduapuluh walaupun masih diatas baku mutu. BOD, COD dan TSS pada hari kelima mengalami penurunan masing-masing 55%, 55% dan 60% pada perlakuan kontrol dan hari keduapuluh masing-masing 84%, 84% dan 88% terjadi pada perlakuan <i>Lemna minor L</i> diikuti dengan pertumbuhan fitoplankton.

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa identifikasi terhadap bakteri pada tanah tercemar serta pemanfaatan bakteri indegenous dalam mengolah air lindi

telah dilakukan. Sehingga diketahui bahwa air lindi dapat diolah menggunakan bakteri. Oleh karena itu pada penelitian ini akan membahas mengenai biodiversitas bakteri endogen dan endofit dari tanah dan tanaman terkontaminasi air lindi dan memanfaatkannya sebagai agen bioremediasi dalam mengolah air lindi. Hal ini disebabkan karena kemampuan bakteri dalam tanah maupun akar tanaman terkontaminasi air lindi dapat dioptimalkan sehingga kandungan pencemar dalam lingkungan dapat menurun hingga ambang batas yang sesuai dengan peruntukannya (Pusporini, 2016).

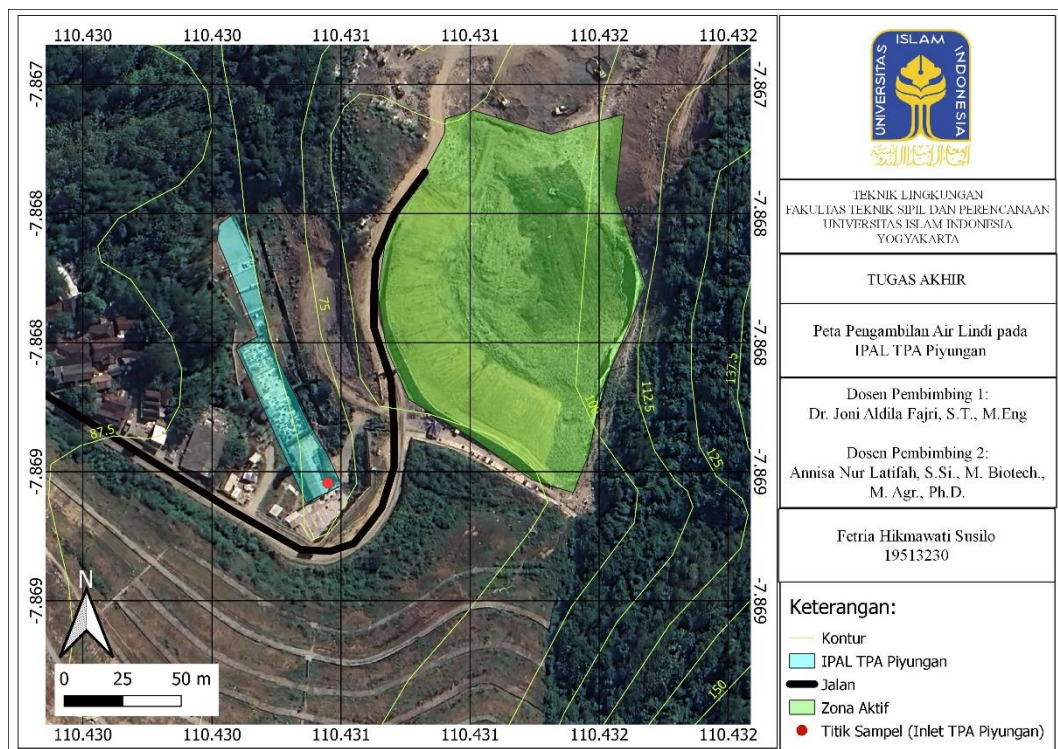
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Maret sampai Agustus 2023. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia sebagai tempat pengujian sampel dan TPA Piyungan sebagai tempat pengambilan sampel air lindi. Air lindi yang digunakan diambil dari bagian *inlet* IPAL lindi TPA Piyungan. Air lindi diambil menggunakan jerigen yang kemudian dibawa menggunakan *cool box* menuju Laboratorium Bioteknologi Lingkungan. Berikut merupakan peta pengambilan air lindi pada inlet IPAL TPA Piyungan:



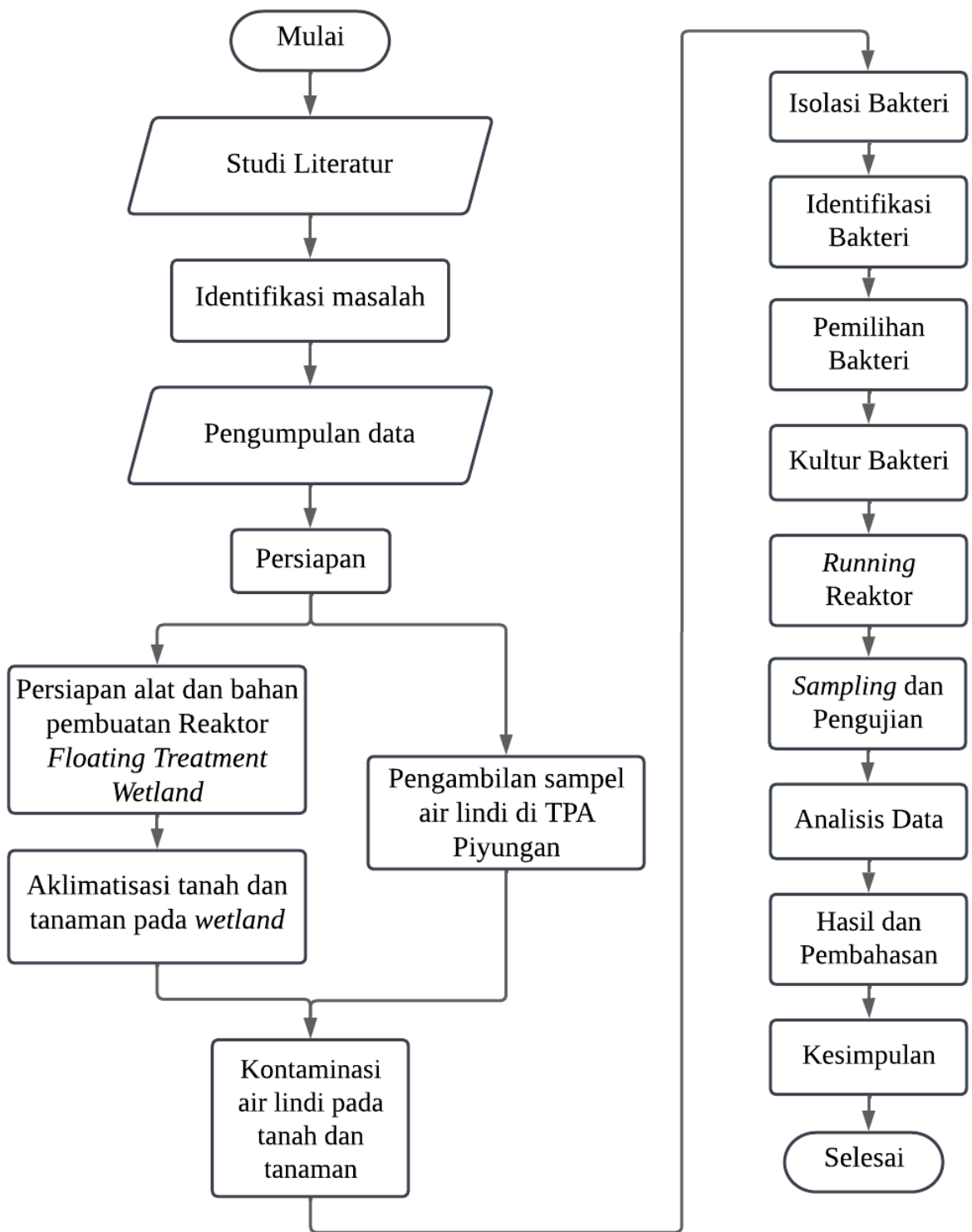
Gambar 3. 1 Denah lokasi sampling air lindi di IPAL TPA Piyungan

3.2 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat bahan serta instrument yang digunakan untuk pelaksanaan serta pengukuran dalam proses penelitian identifikasi bakteri dan potensinya dalam mengolah air lindi. Alat yang digunakan berupa cawan petri, ose, bunsen, test tube, pipet ukur, gelas arloji, erlenmeyer, *hot plate*, corong kaca, kertas saring, labu ukur, gelas beker, labu ukur, gelas ukur, jerigen, neraca analitik, autoclave, termo reaktor serta menggunakan instrument berupa spektrofotometer UV-Vis. Sedangkan untuk bahan yang digunakan adalah media Nutrient Agar, Media Luria Bertani, Media Nutriet Broth, NaCL, Twin 20, larutan 500 Pt-Co, Larutan induk amonia, fenol, Natrium Nitroposid, digestion solution, dan pereaksi asam sulfat.

3.3 Alur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan sumber isolat bakteri yang berasal dari tanah dan akar tanaman *Typha latifolia*. Bakteri yang hasil isolasi selanjutnya dimurnikan dan digunakan sebagai agen bioremediasi untuk mengolah air lindi dari TPA Piyungan. Tahapan Penelitian ditunjukkan oleh diagram alir berikut:

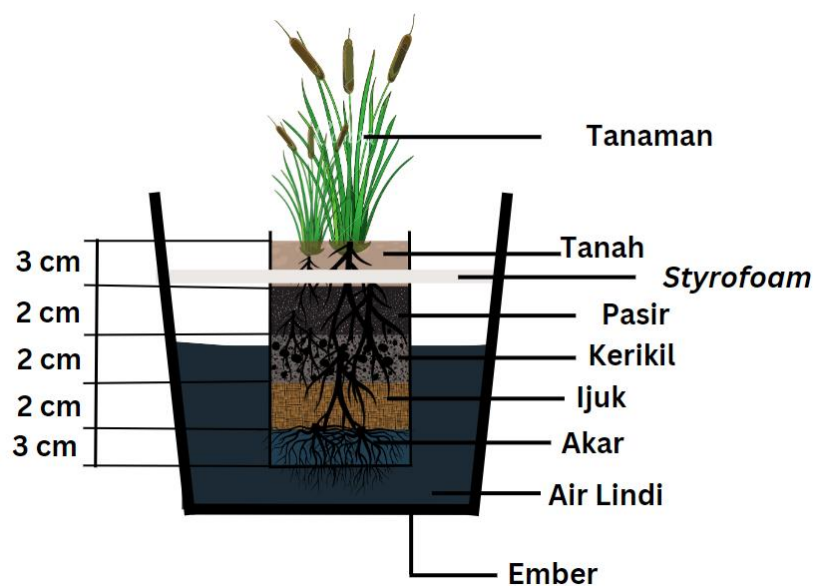


Gambar 3. 2 Bagan penelitian

3.4 Isolasi bakteri

3.4.1 Floating Wetland

Isolat bakteri yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bakteri *endogen* dan bakteri *endofit* yang berasal dari tanah dan akar tanaman *Typha latifolia*. Sebelum dilakukan isolasi bakteri dari tanah dan akar *Typha latifolia* dikontakkan dengan air lindi. Proses pengontakan antara tanah dan akar *Typha latifolia* dengan air lindi dilakukan menggunakan reaktor *wetland*. Reaktor ini dibuat dengan tujuan untuk mendapatkan bakteri *endogen* dari tanah maupun *endofit* dari akar tanaman yang dikontakkan dengan air lindi. *Floating Wetland* dikombinasikan dengan tanaman *Typha latifolia* yang mana menggunakan ember yang berisi 1,5 liter air lindi 25%. Tanaman di tumbuhkan pada *wetland* menggunakan gelas plastik yang berisikan media berupa tanah, pasir, kerikil, dan ijuk. Gelas plastik diposisikan berada di tengah dan dalam kondisi terapung menggunakan *styrofoam*. Berikut desain reaktor *wetland* yang digunakan:



Gambar 3. 3 Desain reaktor *floating wetland*

Umur tanaman *Typha latifolia* yang digunakan untuk mendapatkan bakteri *endofit* adalah 1 bulan. Sebelum dikontakkan dengan air lindi,

tanaman diaklimatisasi selama 28 hari dengan pupuk cair. Pertumbuhan tanaman diamati dengan melihat pertumbuhan tunas baru dan pertumbuhan akar. Setelah tanaman dilakukan aklimatisasi dan terdapat pertumbuhan pada tanaman yang ditandai tumbuhnya tunas dan munculnya akar baru, maka selanjutnya tanaman dikontakkan dengan air lindi. Air lindi yang digunakan merupakan 1,5 liter air lindi dengan konsentrasi 25% yang mana terdiri atas 25% air lindi dan 75% aquades. Sebelum air lindi dikontakkan dengan tanaman, air lindi terlebih dahulu disterilkan menggunakan autoclave, sehingga diharapkan hanya kandungan nutrisi air lindi yang diserap tanaman. *Running reaktor floating wetland* ini dilakukan selama 7 hari. Berikut merupakan gambar tanaman *Typha latifolia* pada hari pertama:

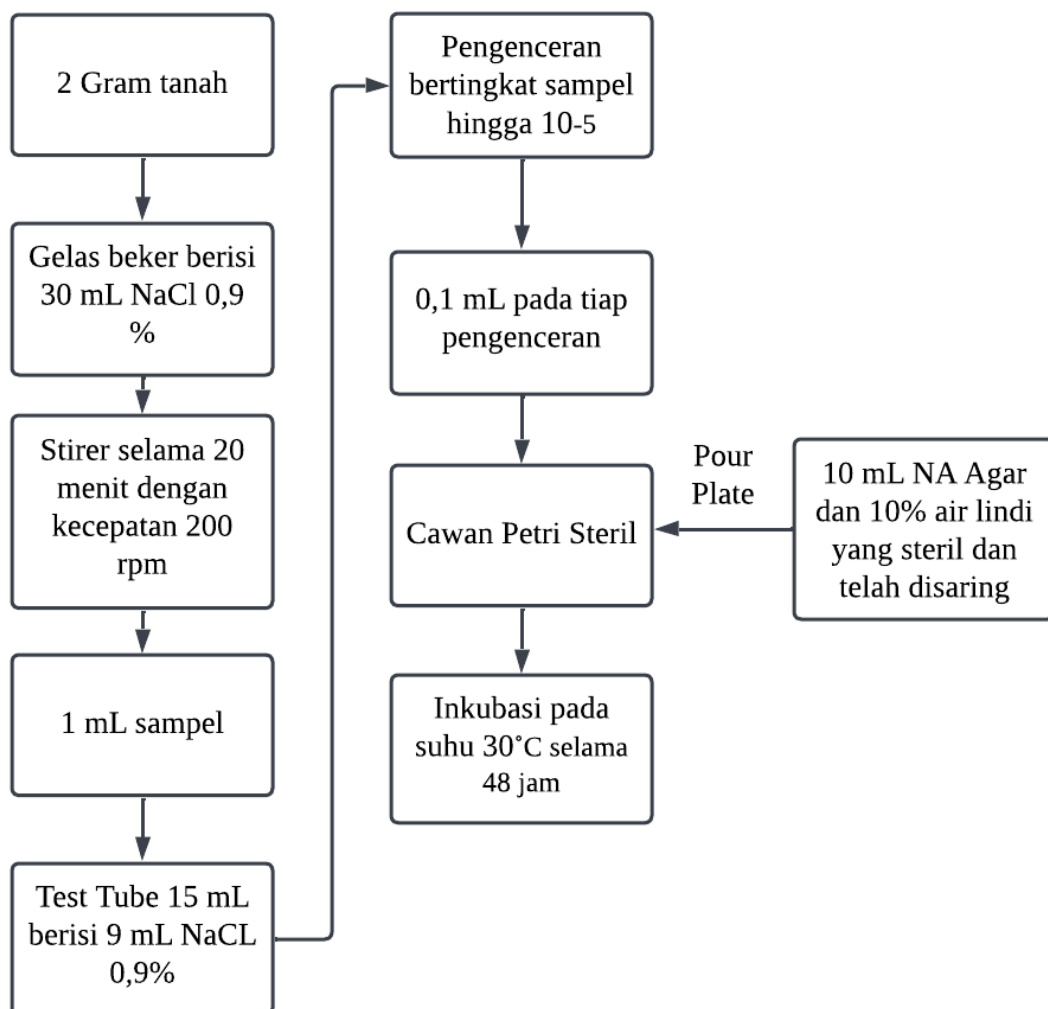


Gambar 3. 4 Kondisi awal aklimatisasi tanaman *Typha latifolia*

(Sumber: Dokumen pribadi)

3.4.2 Isolasi Bakteri Endogen

Sebelum melakukan isolasi bakteri, terlebih dilakukan ekstraksi pada tanah terkontaminasi air lindi. Ekstraksi dan isolasi bakteri pada tanah tercemar mengacu pada penelitian (Shehzadi, 2016). Ekstraksi tanah dilakukan dengan menghomogenkan tanah dengan NaCl hingga tanah larut. Selanjutnya sampel tanah diambil 1 mL untuk dilakukan pengenceran hingga 10^{-5} . Selanjutnya diambil 0,1 mL tiap pengenceran untuk diisolasi pada media nutrient agar dengan air lindi steril sebanyak 10%. Tahapan ekstraksi dan isolasi bakteri pada tanah sapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



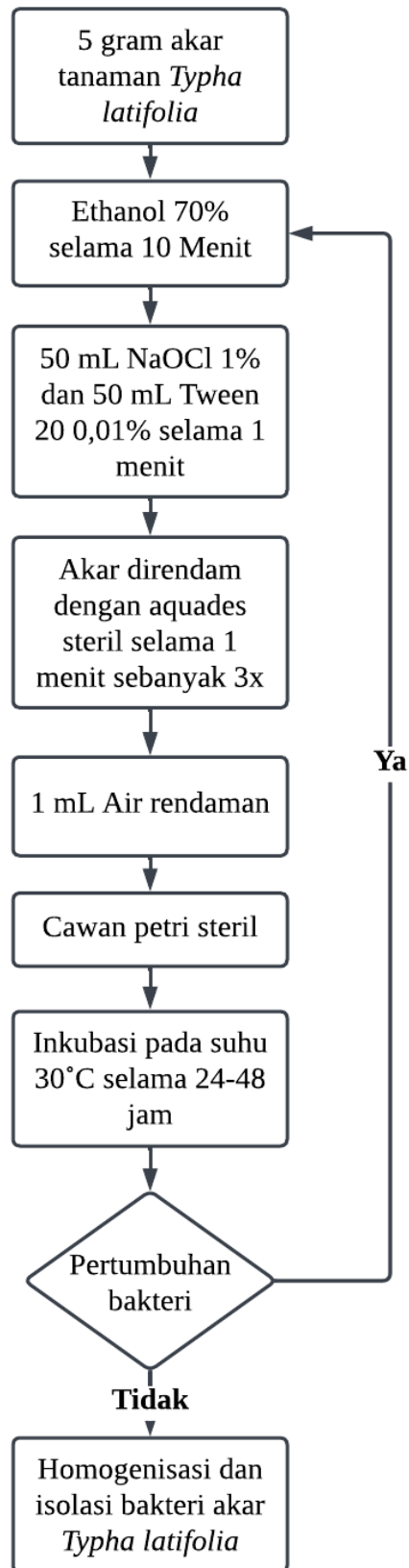
Gambar 3. 5 Tahapan ekstraksi dan isolasi bakteri *endogen* dari tanah terkontaminasi

3.4.3 Isolasi Bakteri Endofit

Tahapan isolasi bakteri dari akar tanaman *Typha latifolia* mengacu pada penelitian (Shehzadi, 2016) . Isolasi bakteri dari akar tanaman dimulai dengan tahapan sterilisasi dan ekstraksi akar yang telah berhasil disterilkan. Sebelum dilakukan tahap isolasi, akar tanaman *Typha latifolia* terlebih dahulu disterilkan dengan dicuci menggunakan alkohol selama 10 menit, NaOCl 1% dan Twin 20 0,01% selama 1 menit, dan menggunakan aquades steril 3 kali selama 1 menit. Proses pencucian ini dilakukan guna membersihkan akar dari mikroorganisme yang tidak diinginkan serta dilakukan hanya untuk mendapatkan bakteri *endofit* dalam akar tanaman. Setelah dicuci, aquades hasil rendaman akar diambil 1 mL untuk diisolasi menggunakan media luria bertani selama 24-48 jam. Jika selama isolasi air hasil rendaman akar terjadi pertumbuhan bakteri maka akar perlu dilakukan pencucian ulang dan dilakukan isolasi ulang terhadap air rendaman. Hal ini dilakukan terus hingga hasil isolasi air rendaman tidak tumbuh bakteri. Setelah air rendaman tidak tumbuh bakteri maka dilanjutkan dengan ekstraksi atau homogenisasi akar tanaman.

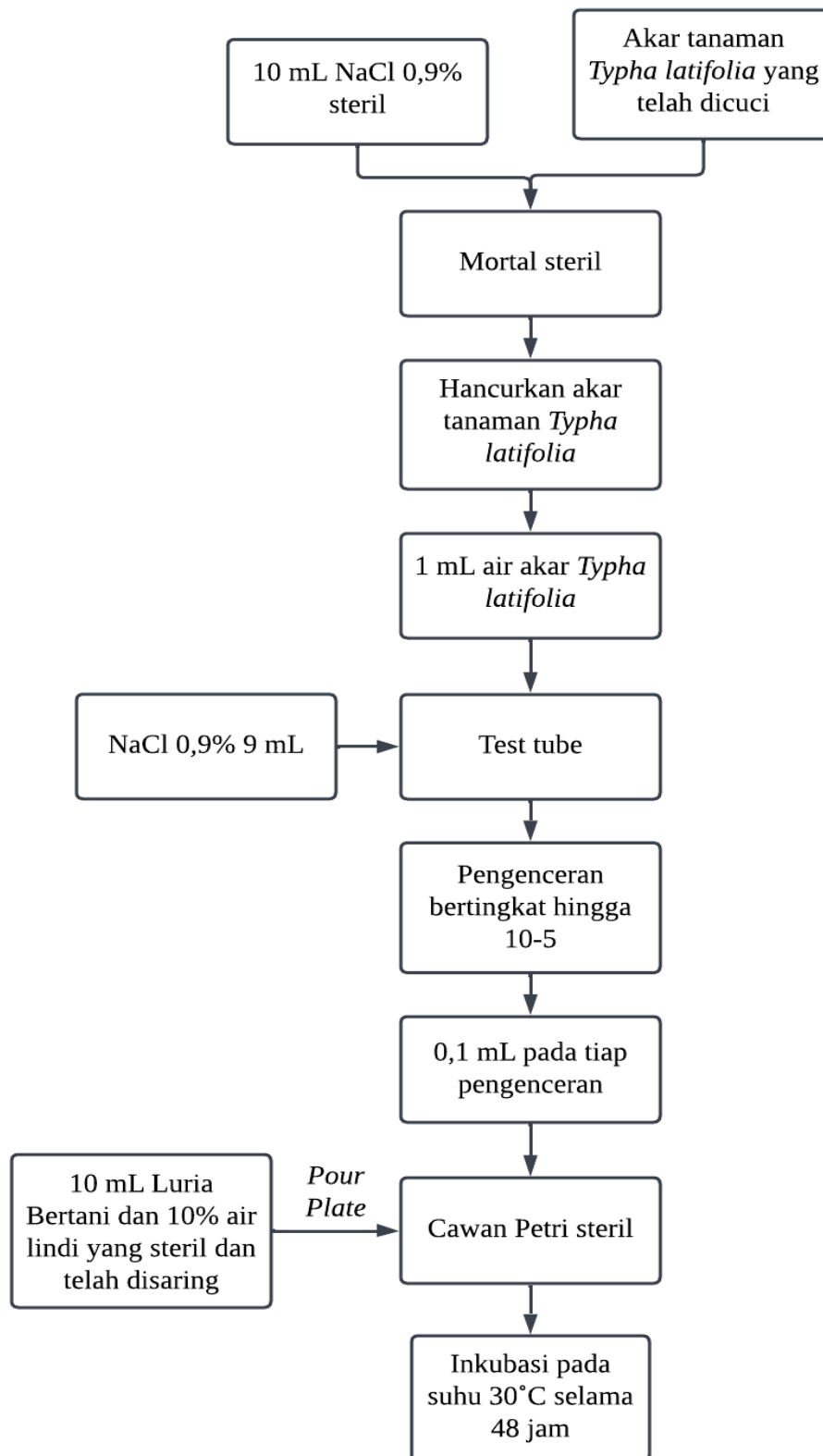
Tanap selanjutnya, setelah air rendaman akar yang sudah tidak terdapat pertumbuhan bakteri maka akar tanaman *Typha latifolia* homogenisasi akar. Hal ini dilakukan dengan menghancurkan akar yang ditambah dengan NaCL steril pada mortar steril. Selanjutnya air yang dihasilkan diencerkan hingga 10^{-5} dan tiap pengenceran diambil 0,1 mL untuk diisolasi pada media Luria Bertani dengan air lindi steril 10%.

Adapun tahapan sterilisasi pada akar tanaman adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Tahapan pencucian akar tanaman *Typha latifolia*

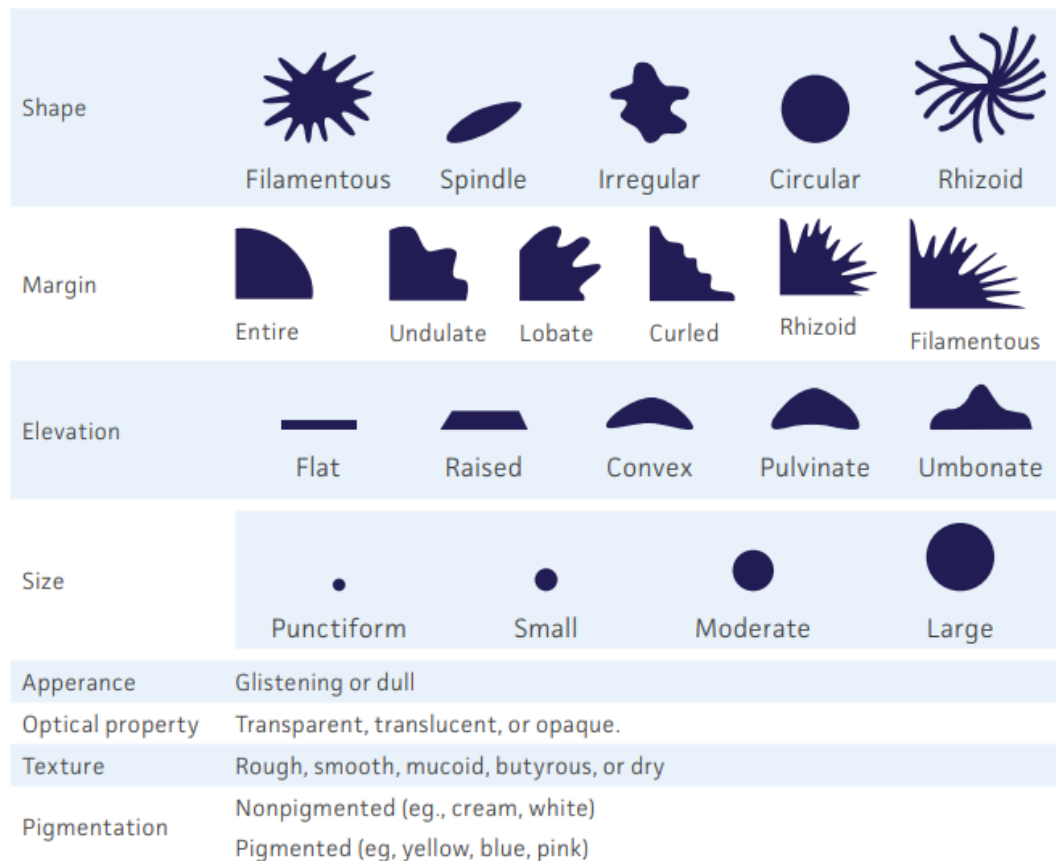
Adapun tahapan isolasi bakteri *endofit* dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. 7 Tahapan isolasi bakteri *endofit* dari akar tanaan *Typha latifolia*

3.5 Identifikasi Morfologi Bakteri

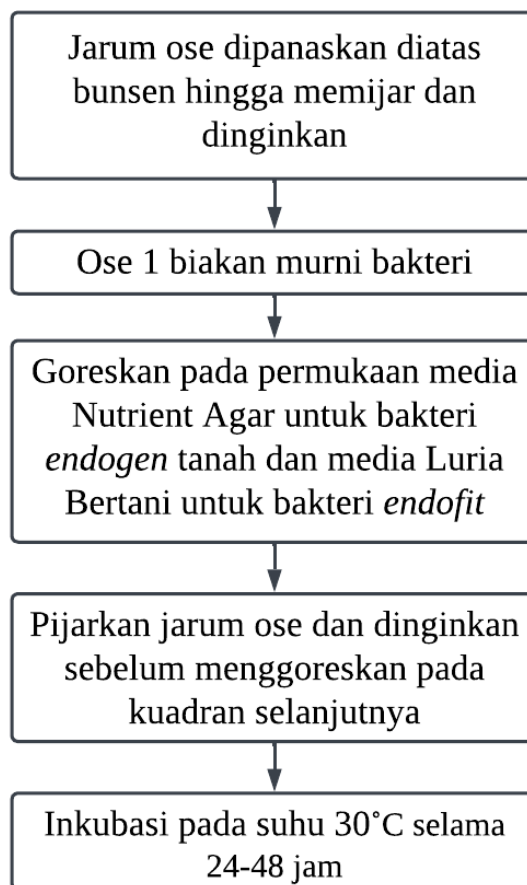
Morfologi bakteri dilakukan guna mengetahui karakteristik dari bentuk maupun struktur dari suatu bakteri. Identifikasi morfologi bakteri dilakukan setelah diperoleh koloni yang tumbuh setelah dilakukan isolasi bakteri. Metode identifikasi morfologi bakteri dilakukan mengacu pada panduan morfologi bakteri (ATTC, 2021). Identifikasi bakteri dilakukan dengan mendiskripsikan *shape*, *margin*, *elevation*, *size*, *apperance*, *optical property*, *texture*.



Gambar 3. 8 Morfologi bakteri (Sumber : ATTC, 2021)

Setelah morfologi dari bakteri didapatkan, selanjutnya bakteri dengan morfologi sama akan dikelompokkan dan dihitung jumlah bakteri yang

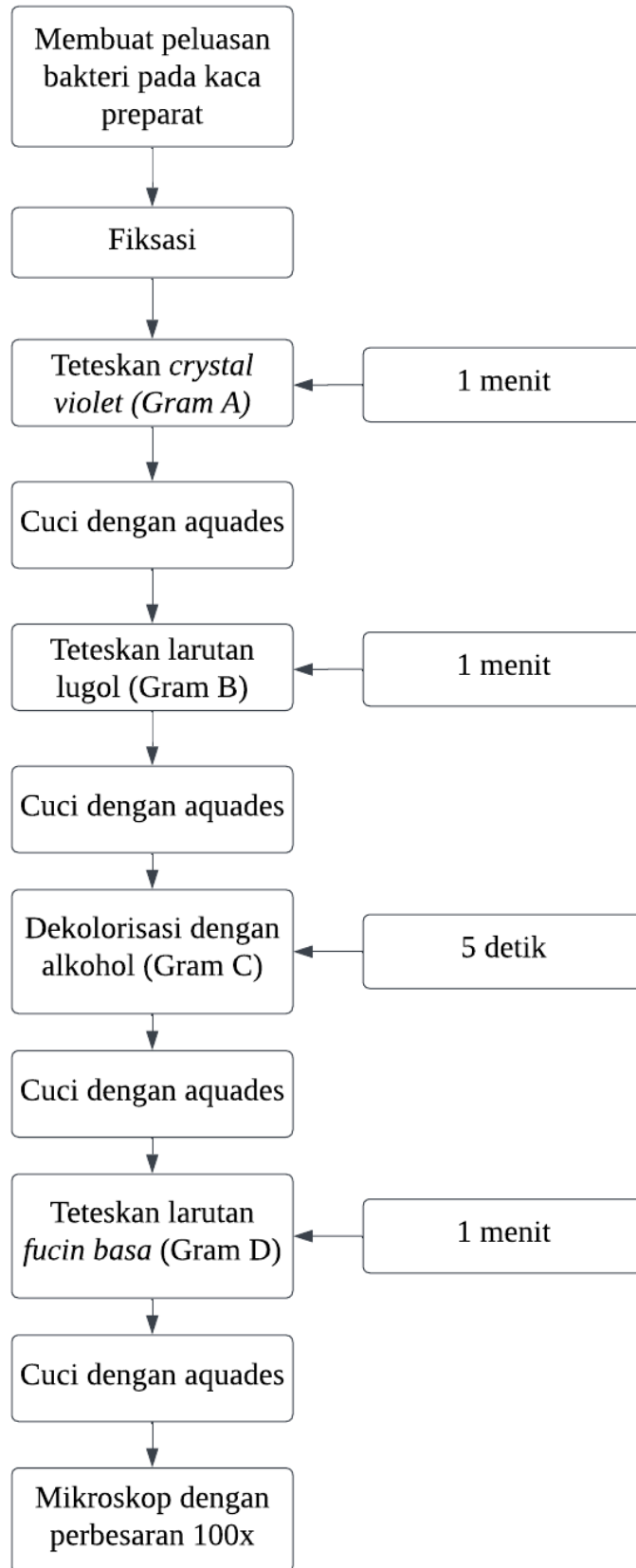
terbentuk. Untuk menghitung jumlah bakteri dilakukan dengan menghitung koloni pada cawan petri yang terbentuk selama masa isolasi. Perhitungan ini menggunakan satuan CFU's/mL. CFU's merupakan singkatan dari *colony forming unit* atau unit pembentuk kolony yang mana menunjukkan jumlah koloni yang tumbuh tiap gram atau mililiter sampel yang dihitung dari jumlah cawan, faktor pengenceran, dan volume yang digunakan (Soesetyaningsih & Azizah, 2020). Selanjutnya tiap bakteri dipecah menjadi beberapa cawan purifikasi sesuai dengan jumlah bakteri teridentifikasi. Hal ini dilakukan agar bakteri teridentifikasi dapat terpisah satu dengan yang lain sehingga bakteri tersebut dapat diperbanyak dan digunakan untuk uji kemampuan bakteri dalam mengolah air lindi. berikut merupakan tahapan pemisahan bakteri dengan metode *streak plate*:



Gambar 3. 9 Tahapan pemurnian bakteri *endogen* dan *endofit* terpilih dengan metode *Streak Plate*

3.6 Pewarnaan Gram

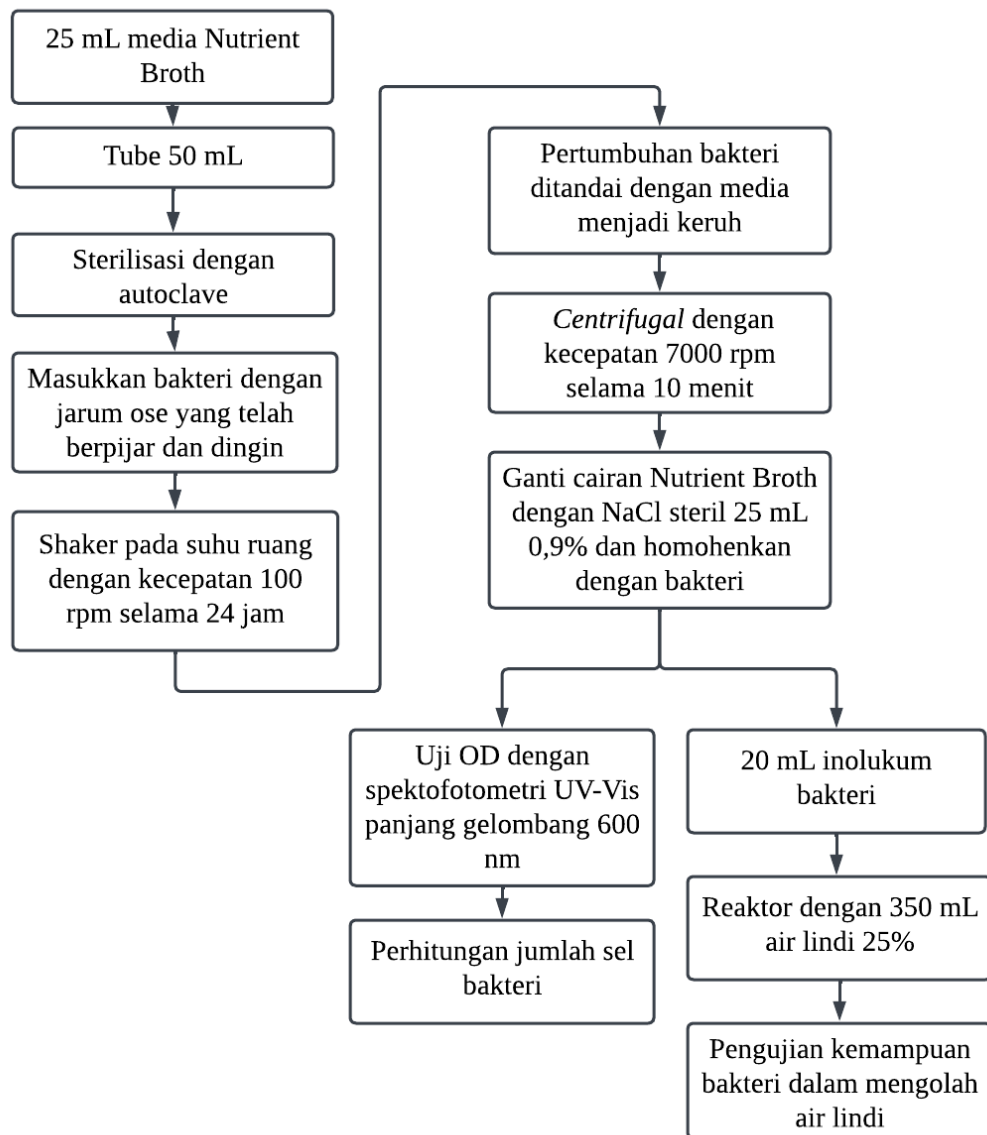
Setelah identifikasi dan purifikasi bakteri sesuai dengan morfologi yang didapatkan, selanjutnya dilakukan pewarnaan gram. Pewarnaan gram dilakukan guna mengetahui morfologi serta sifa gram bakteri. Pewarnaan gram dikelompokkan menjadi gram positif dan gram negatif (Reynolds, 2011). Pewarnaan gram dilakukan menggunakan empat larutan, yakni Kristal Violet (Gram A), Iodin Lugol (Gram B), Etanol 96% (Gram C), dan Safranin (Gram D). Bakteri berwarna ungu kebiruan merupakan gram bersifat positif dan bakteri berwarna merah muda memiliki sifat negatif (Wulandari, 2019). Hal ini disebabkan karena bakteri garam positif mempertahankan warna kristal violet dan iodin meskipun ditetesi larutan alkohol, sedangkan bakteri gram negatif tidak mampu mempertahankan warna kristal violet dan yodium ketika ditetesi alkohol sehingga mengambil warna merah dari safranin (Nurhidayati, 2015). Adapun tahapan pewarnaan gram dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Tahapan pewarnaan gram bakteri *endogen* dan *endofit*

3.7 Kultur Bakteri

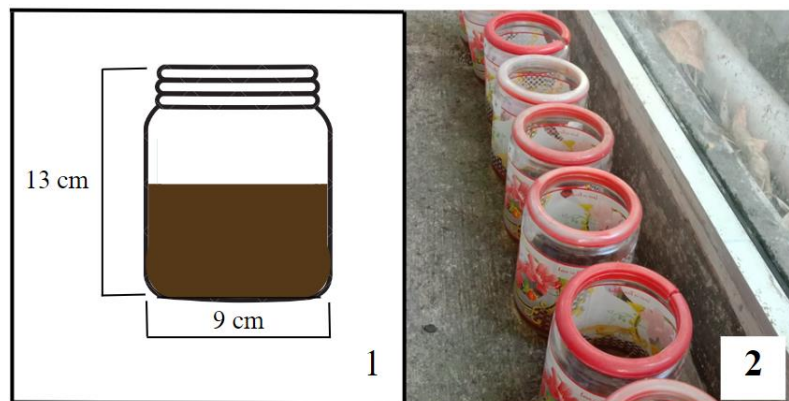
Bakteri terpilih dikembangbiakkan sesuai dengan morfologi yang ada (Shehzadi, 2016). Bakteri terpilih diperbanyak dengan menumbuhkan bakteri pada media Nutrient Broth (NB). Bakteri yang berasal dari kultur murni diose sebanyak 1 kali dan dimasukkan ke dalam media Nutrient Broth. Selanjutnya bakteri diinkubasi dalam *water bath shaker* dengan suhu 28-30°C pada kecepatan 100 g selama 24-48 jam. Setelah media keruh, media disentrifugasi dengan kecepatan 7000 rpm selama 10 menit, dan diresuspensi dengan NaCl 0,9%, hal ini dilakukan untuk dapat memisahkan antara bakteri yang telah tumbuh dengan media NB. Selanjutnya dilakukan uji OD atau *Optical Dencity* menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan pencampuran bakteri dengan air lindi dalam reaktor. Untuk pengujian OD dengan spektrofotometer dilakukan dengan panjang gelombang 600 nm. Pengujian OD dilakukan guna mengetahui jumlah bakteri hasil kultur yang akan digunakan untuk mengolah air lindi dalam reaktor. Sedangkan untuk pencampuran bakteri hasil kultur dilakukan dengan menuangkan inokulum bakteri sebanyak 20 mL ke dalam 350 ml air lindi 25%. Tahapan kultur bakteri dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 3. 11 Tahapan kultur bakteri *endogen* dan *endofit*

3.8 Running Reaktor

Isolat bakteri yang telah di kultur selanjutnya diuji guna mengetahui kemampuannya dalam mengolah air lindi. Pengolahan air lindi oleh bakteri ini dilakukan dalam skala laboratorium, menggunakan reaktor dengan sistem *batch*. Reaktor yang digunakan memiliki tinggi 13 cm dengan diameter 9 cm. Dalam reaktor ini diisi dengan limbah yang memiliki komposisi aquades dan air lindi dengan perbandingan 4:1. Pengolahan air lindi ini dilakukan di dalam *green house*. Untuk air lindi yang digunakan terlebih dahulu disterilkan menggunakan autoclave. Hal ini dilakukan guna bakteri dalam air lindi mati sehingga ketika dimulai untuk uji kemampuan bakteri, hanya bakteri terpilih yang berada dalam reaktor. Selanjutnya air lindi sebanyak 350 mL dan bakteri sebanyak 20 mL dimasukkan kedalam toples. Bakteri yang dimasukkan dalam air limbah merupakan inokulasi bakteri terpilih. Semakin tinggi jumlah bakteri yang ditambahkan semakin cepat proses pendegradasi (Sunaryanto, 2017).



Gambar 3. 12 (1) Desain reaktor (2) Reaktor yang digunakan selama proses pengolahan air lindi (Sumber: Dokumen pribadi)

Adapun jumlah bakteri yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Jumlah bakteri untuk pengolahan air lindi

No	Kode Bakteri	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1	S2	$2,7 \times 10^4$
2	S3	$1,7 \times 10^4$
3	S4	$9,0 \times 10^4$
4	S9	$1,6 \times 10^4$
5	S10	$2,4 \times 10^4$
6	S13	$7,1 \times 10^4$
7	S19	$1,3 \times 10^4$
8	Rd	$0,9 \times 10^4$
9	Rf	$5,9 \times 10^4$
10	Rj	$0,6 \times 10^4$

Catatan : Nomor 1-7 merupakan bakteri *endogen* terpilih dan nomor 8-10 merupakan bakteri *endofit* terpilih

Setiap reaktor yang digunakan untuk uji kemampuan bakteri dalam mengolah air lindi ditempatkan dalam toples yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan tiap bakteri dalam mengolah air lindi. berikut merupakan komposisi reaktor yang digunakan untuk mrngolah air lindi:

Tabel 3. 2 Komposisi reaktor

Kode Reaktor	Komposisi reaktor
CR	Kontrol Air Lindi
1	Air Lindi + Bakteri S2
2	Air Lindi + Bakteri S3
3	Air Lindi + Bakteri S4
4	Air Lindi + Bakteri S9
5	Air Lindi + Bakteri S10
6	Air Lindi + Bakteri S13
7	Air Lindi + Bakteri S19
A	Air Lindi + Bakteri Rd
B	Air Lindi + Bakteri Rf
C	Air Lindi + Bakteri Rj

Catatan : Air lindi yang digunakan merupakan air lindi steril dengan konsentrasi 25%. Pada CR merupakan kontrol reaktor yang hanya berisikan air lindi, reaktor 1

hingga 7 merupakan pengolahan dengan bakteri *endogen* dan A hingga C merupakan pengolahan dengan bakteri *endofit*

3.9 Pengujian Kemampuan Bakteri dalam Mengolah Air Lindi

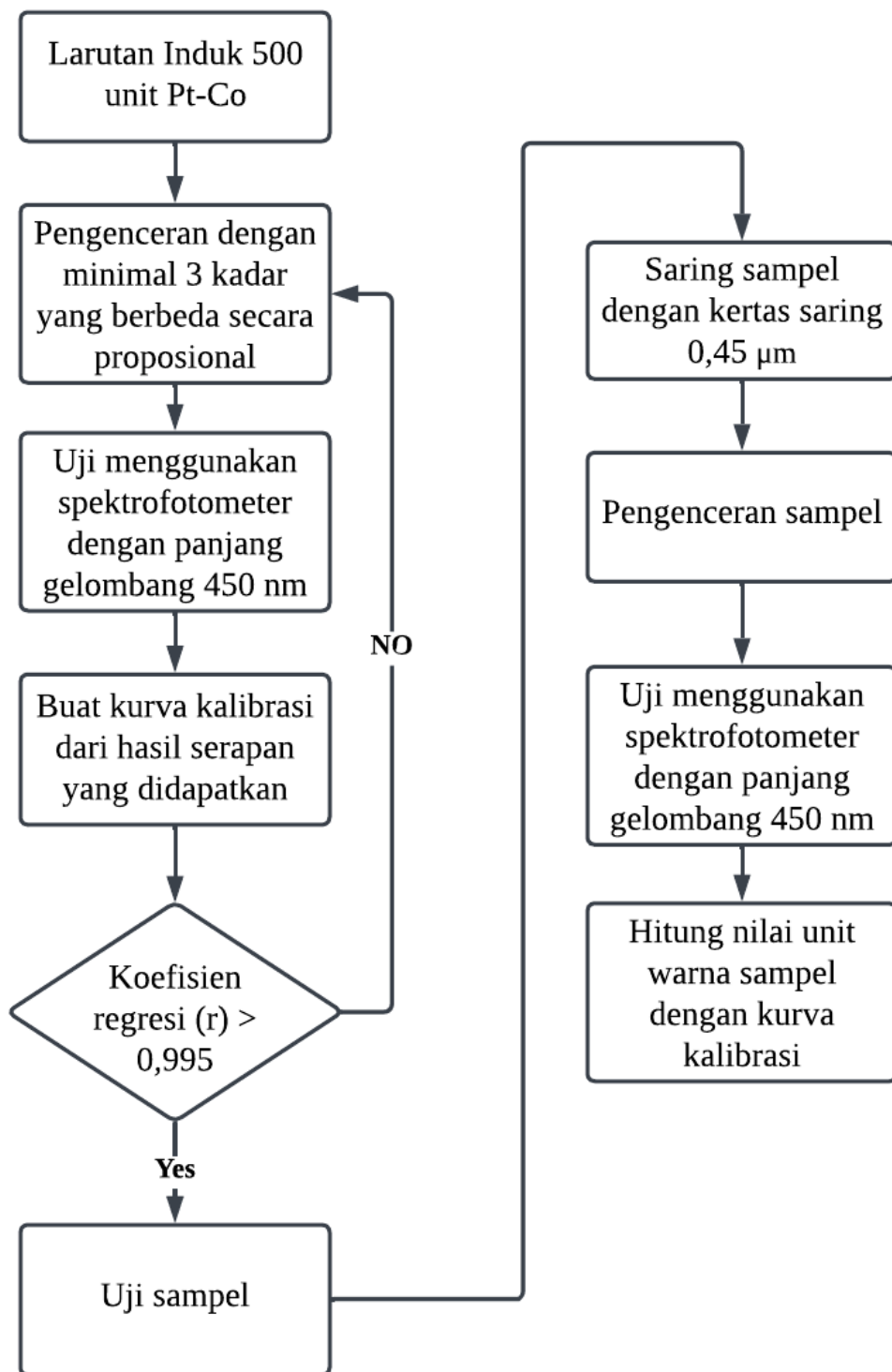
Bakteri yang telah ditambahkan dalam reaktor akan digunakan untuk mengolah air lindi. Selama proses pengolahan atau *running reaktor* dilakukan beberapa pengujian dan pengecekan terhadap beberapa parameter. Adapun pengecekan harian dilakukan terhadap parameter pH, suhu, EC, TDS, DO, dan ORP. Pengecekan parameter tersebut dilakukan guna mengetahui kondisi air lindi setiap harinya, yakni pada tanggal 24 Juli-10 Agustus 2023. Pengecekan pada parameter pH dan EC dilakukan pada hari Senin-Jum'at, sedangkan parameter suhu, TDS dan ORP dilakukan setiap hari. Pengecekan terhadap parameter tersebut dilakukan pada pagi hari pukul 09.00-10.00 WIB. Pengecekan dilakukan menggunakan alat portabel, untuk pH, suhu, dan ORP menggunakan pH meter, TDS dan EC menggunakan alat pengukuran multimeter, dan DO menggunakan DO meter. Selain pengecekan terhadap beberapa parameter tersebut, dilakukan pula pengujian terhadap parameter COD, amonia, dan warna. Pengujian dilakukan guna mengetahui kemampuan bakteri dalam mengolah parameter tersebut dalam air lindi.. Adapun metode pengujian pada tiap parameter adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Standar uji air limbah

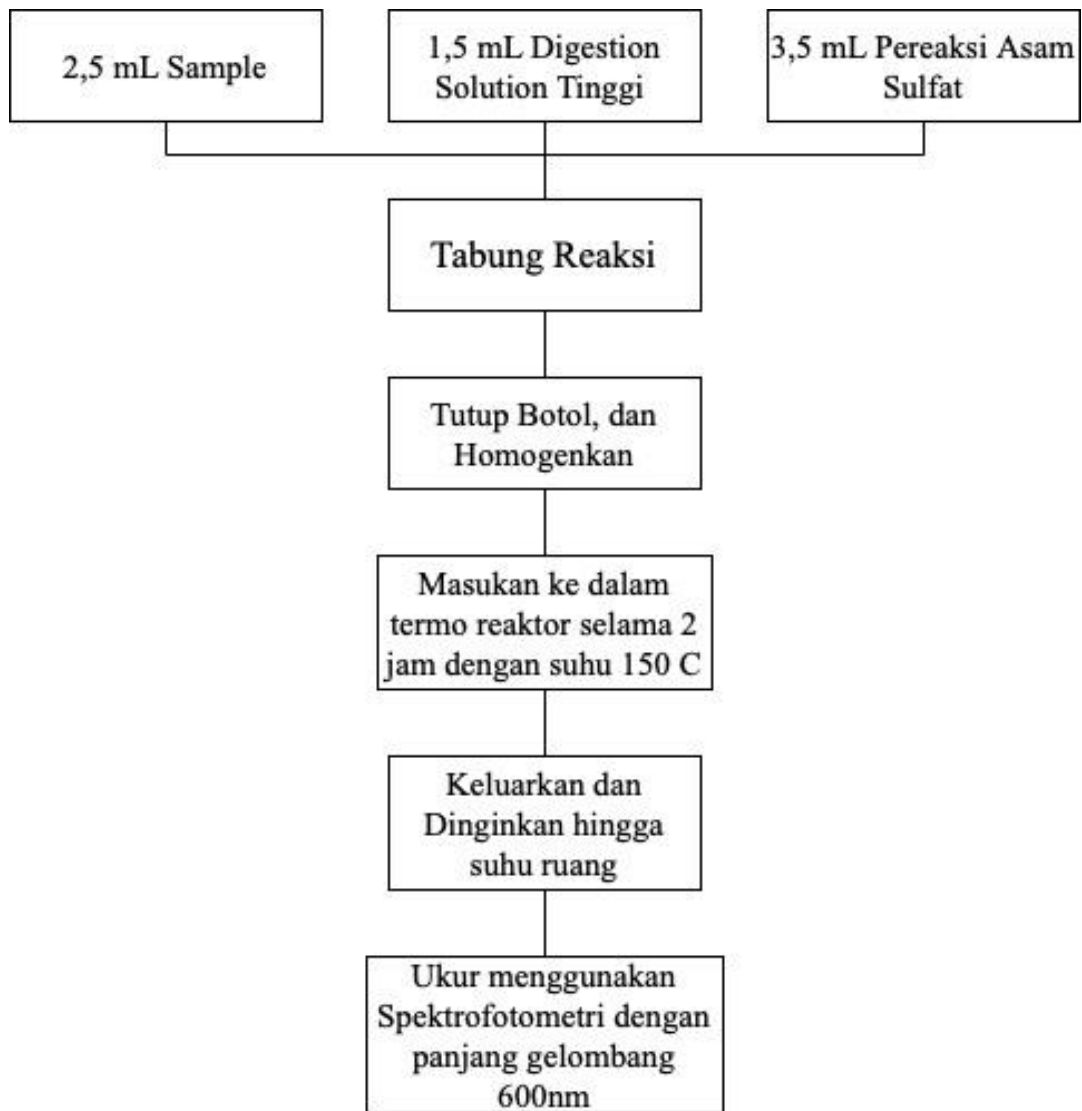
No	Parameter	Satuan	Metode	Acuan
1	Warna	Pt-Co	Spektrofotometri	SNI 6989.80:2011
2	COD	mg/L	Spektrofotometri	SNI 6989.2:2009
3	Amonia	mg/L	Spektrofotometer secere fanat	SNI 06-6989.30- 2005
4	Suhu	°C	Portebel pH meter	-
5	DO	ppm	Portebel DO meter	-

No	Parameter	Satuan	Metode	Acuan
6	pH		Portebel pH meter	-
7	TDS	ppm	Multimeter	-
8	EC	$\mu\text{s}/\text{cm}$	Multimeter	-
9	ORP	mV	Portebel pH meter	-

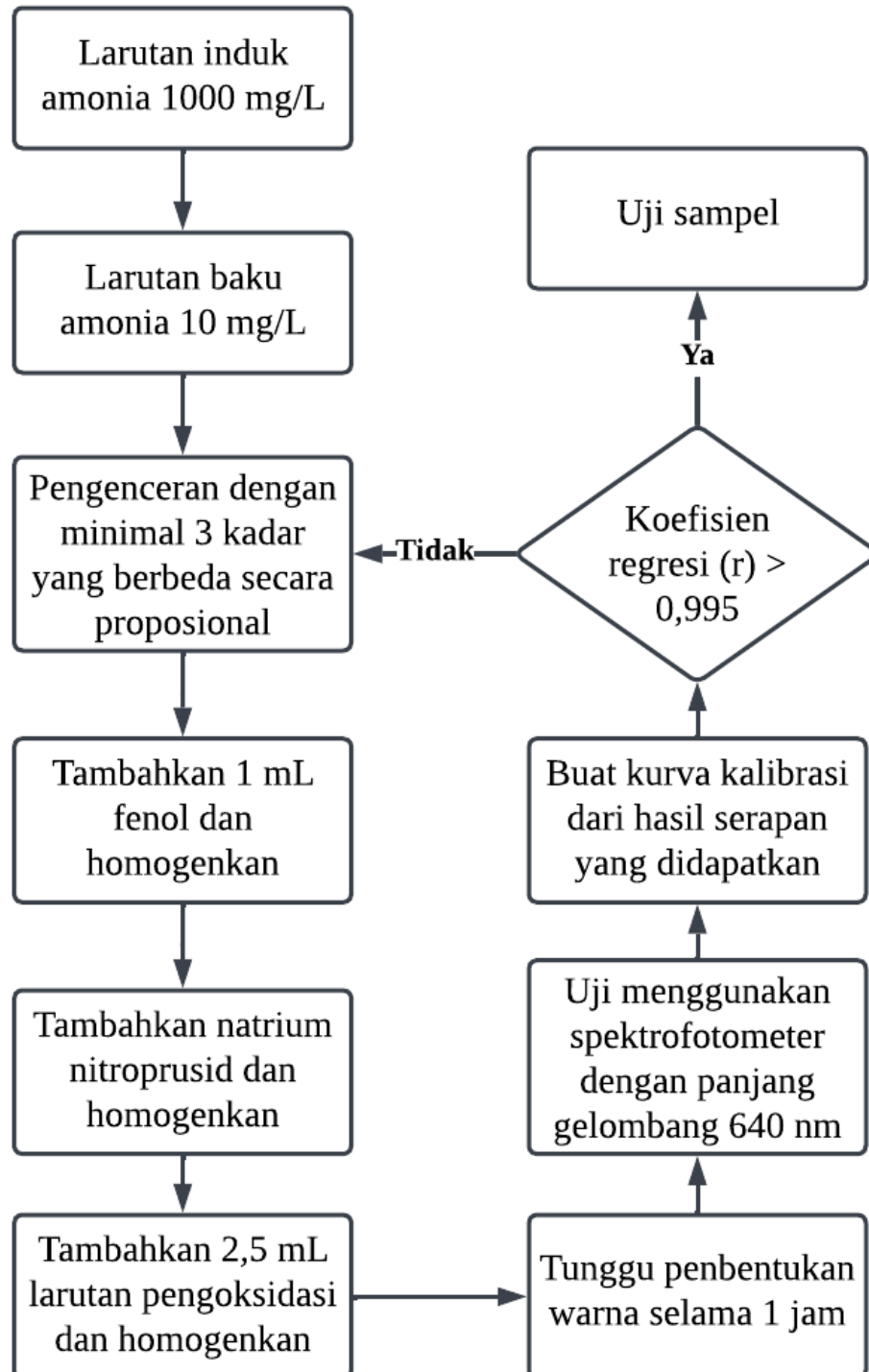
Pengolahan air lindi menggunakan reaktor selama 19 hari dengan mengikuti metode sesuai dengan SNI yang berlaku. Pengambilan sampel untuk uji warna, COD, dan amonia dilakukan pada hari ke 0, 5, 11, dan 19 guna mengetahui perkembangan pengolahan oleh bakteri terpilih. Adapun tahapan pengujian warna, COD, dan amonia adalah sebagai berikut:



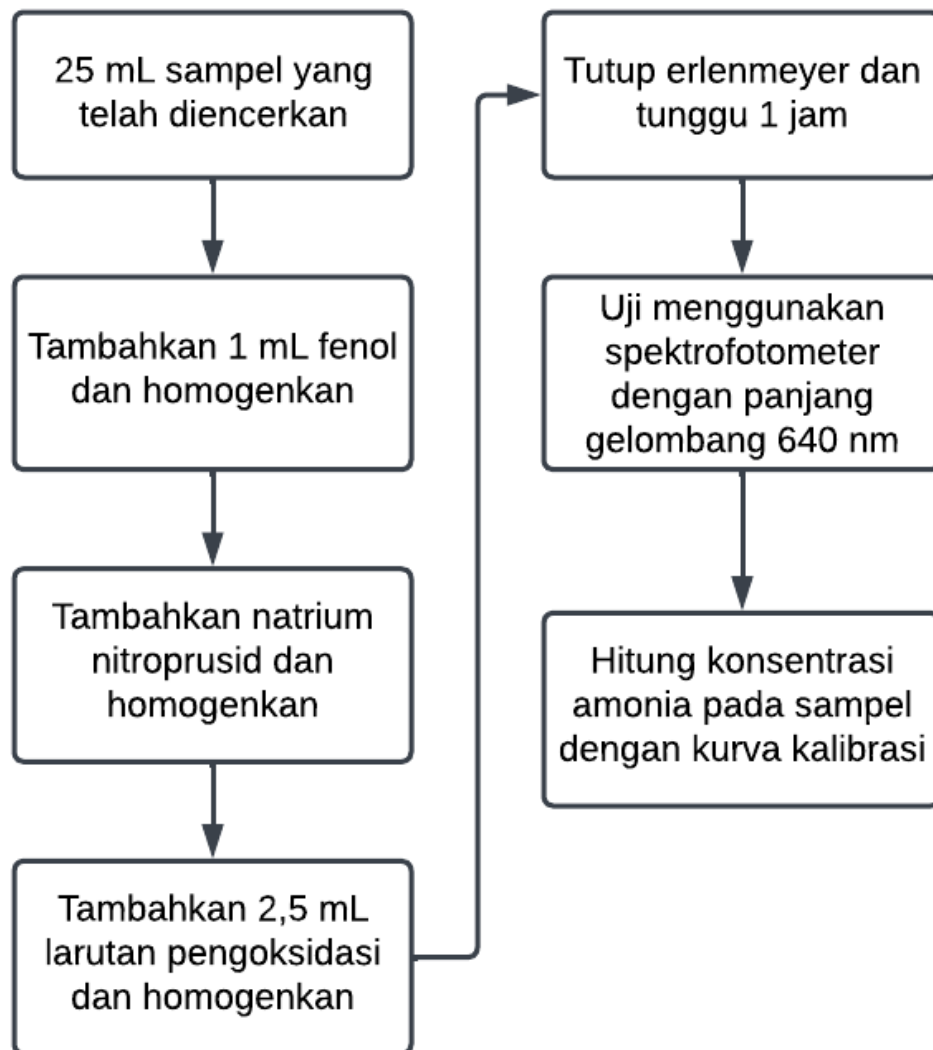
Gambar 3. 13 Tahapan uji warna pada air lindi



Gambar 3. 14 Tahapan uji COD pada air lindi



Gambar 3. 15 Tahapan pembuatan kurva kalibrasi uji amonia pada air lindi



Gambar 3. 16 Tahapan uji amonia dalam air lindi

3.10 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian kandungan warna, COD, dan amonia sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan limbah dengan menggunakan reaktor berisi bakteri terpilih, maka dilakukan analisis untuk melihat keberhasilan bakteri dalam mengolah air lindi. Hasil pengujian dibandingkan dengan baku mutu parameter sesuai dengan peraturan yang ada sehingga dapat diketahui kemampuan bakteri dalam mengolah air lindi. Berikut

merupakan baku mutu serta peraturan yang digunakan sebagai acuan:

Tabel 3. 4 Baku mutu air limbah yang berlaku

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Referensi
1	Warna	Pt-Co	200	Permen LHK RI NOMOR 16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah
2	COD	mg/L	300	Permen LHK RI NOMOR 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah
3	Amonia (NH3)	mg/L	10	Permen LHK Nomor 68 tahun 2016 tentang baku Mutu Air Limbah Domestik

Hasil pengujian pada tiap parameter dibandingkan antara kondisi awal dengan kondisi akhir. Data yang didapatkan diolah dalam bentuk diagram sehingga dapat diketahui perbandingan kondisinya serta memudahkan untuk melihat perkembangan pengolahan limbah oleh bakteri. Dengan begitu dapat disimpulkan hasil biodegradasi kandungan warna, COD, serta amonia dalam air lindi. Untuk mengetahui efektivitas bakteri dalam mengolah air lindi maka dapat diukur dengan presentasi *removal* konsentrasi parameter yang diuji. Adapun rumus presentase *removal* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100 \quad (3.1)$$

Keterangan:

C_{awal} = Konsentrasi Awal

C_{akhir} = Konsentrasi Akhir

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

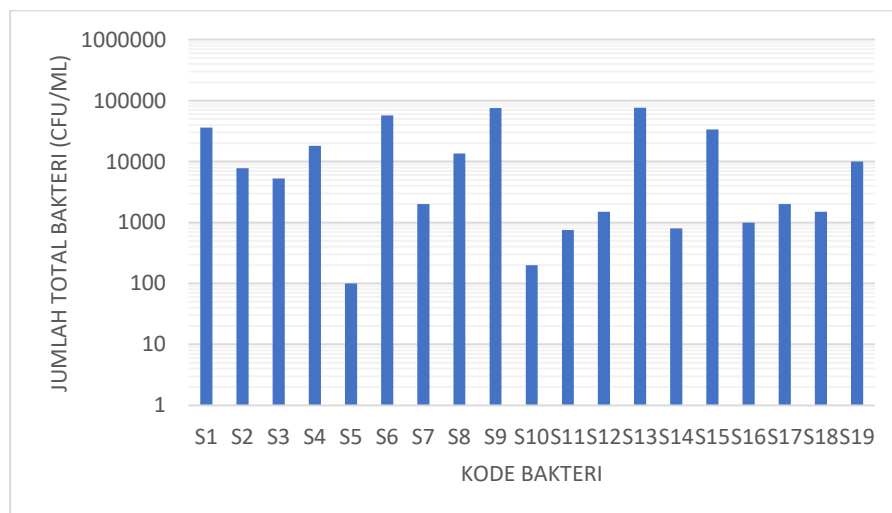
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Karakteristik Bakteri

Dari hasil isolasi bakteri sampel tanah maupun akar tanaman *Typha latifolia* terdapat 957 koloni bakteri tanah terkontaminasi dan 111 koloni bakteri akar tanaman *Typha latifolia*. Bakteri dalam tanah lebih besar jumlahnya dibandingkan jumlah bakteri dalam akar tanaman. Tingginya populasi bakteri dalam tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan sifat tanah yang memungkinkan untuk tumbuhnya bakteri. Kondisi pH, oksigen, dan makanan atau zat organik sebagai sumber energi yang cukup akan membuat bakteri dapat berkembang biak dengan baik (Mustoyo, 2013). Sedangkan jumlah populasi bakteri *endofit* dari akar tanaman dapat dipengaruhi oleh umur tanaman, jenis jaringan, dan lingkungan tanaman, selain itu jumlah bakteri sekitar akar tanaman juga lebih berlimpah karena akar tanaman menghasilkan banyak senyawa organik yang mampu merangsang pertumbuhan bakteri (Yandila, 2018).

Berikut merupakan grafik jumlah koloni hasil ekstraksi sampel tanah terkontaminasi air lindi:



Gambar 4. 1 Kelimpahan macam bakteri *endogen* hasil isolasi sampel tanah terkontaminasi air lindi TPA Piyungan

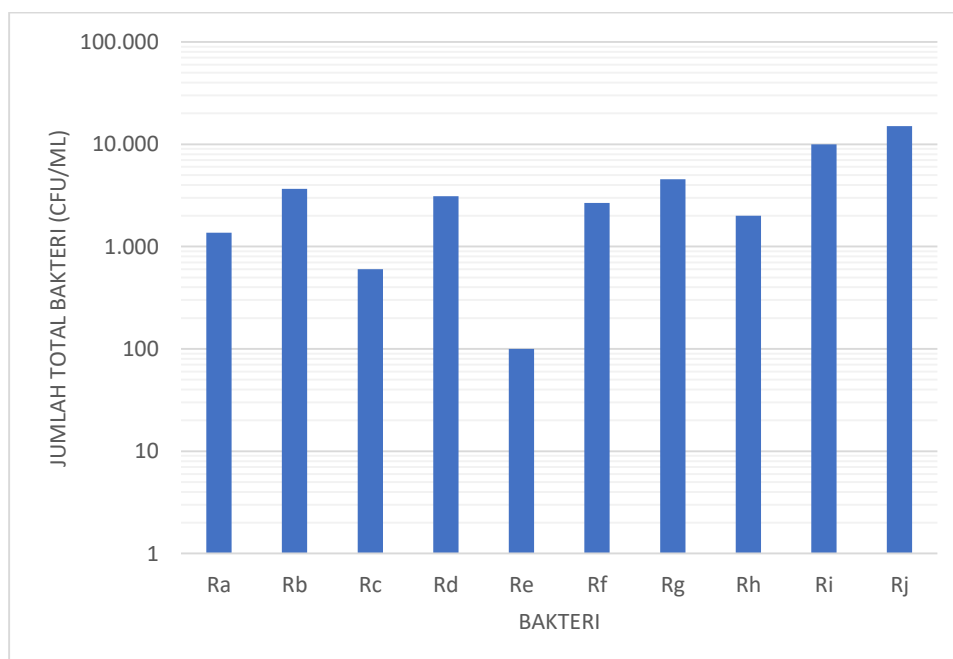
Tabel 4. 1 Morfologi bakteri *endogen* pada sampel tanah terkontaminasi air lindi TPA Piyungan

Kode Bakteri	Morfologi							
	<i>Shape</i>	<i>Margin</i>	<i>Elevation</i>	<i>Size</i>	<i>Pigmentation</i>	<i>Apperance</i>	<i>Optical Property</i>	<i>Texture</i>
S1	<i>Spindel</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Small</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
S2	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Large</i>	<i>Pigmented (Pyellow)</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
S3	<i>Filamentous</i>	<i>Undulate</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dul</i>	<i>Opaque</i>	<i>Rough</i>
S4	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transparant</i>	<i>Smooth</i>
S5	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Moderate</i>	<i>Pigmented (Pink)</i>	<i>Dull</i>	<i>Transparant</i>	<i>Smooth</i>
S6	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Punctiform</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
S7	<i>Circular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transparant</i>	<i>Rough</i>
S8	<i>Irraguler</i>	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transparant</i>	<i>Smooth</i>
S9	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	<i>Small</i>	<i>Pigmented (Cream-Pink)</i>	<i>Glistening</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
S10	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented (Cream)</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transparant</i>	<i>Smooth</i>
S11	<i>Circular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Moderate</i>	<i>Pigmented (Cream-Yellow)</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transparant</i>	<i>Smooth</i>
S12	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Punctiform</i>	<i>Pigmented (Orange)</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
S13	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
S14	<i>Circular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Pulfnate</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Rough</i>
S15	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	<i>Small</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Rough</i>
S16	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	<i>Small</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Rough</i>
S17	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
S18	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	<i>Small</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>

Kode Bakteri	Morfologi							
	<i>Shape</i>	<i>Margin</i>	<i>Elevation</i>	<i>Size</i>	<i>Pigmentation</i>	<i>Apperance</i>	<i>Optical Property</i>	<i>Texture</i>
S19	<i>Irreguler</i>	<i>Lobate</i>	<i>Flat</i>	<i>Moderate</i>	<i>Pigmented (White Yellow)</i>	<i>Dull</i>	<i>Transluent</i>	<i>Rough</i>

Terdapat 19 jenis bakteri dengan morfologi yang berbeda dari hasil isolasi tanah terkontaminasi. Bakteri S9 merupakan bakteri dominan yang mama bakteri ini memiliki jumlah koloni terbanyak. Bakteri ini memiliki morfologi berupa *Circular, entire, convex, small, pigmented (cream-pink) glistening, transparent, dan smooth*. Sedangkan untuk bakteri hasil isolasi akar *Typha latifolia* terdapat 10 bakteri dengan morfology yang berbeda. Dari 10 bakteri yang teridentifikasi bakteri J merupakan bakteri dengan jumlah koloni terbanyak. Bakteri J memiliki morfology berupa *circular, entire, convex, large, pigmented (cream), glistening, opaque, dan smooth*

Berikut merupakan jumlah koloni hasil ekstraksi sampel akar pada tanaman *Typha latifolia* :



Gambar 4. 2 Kelimpahan macam bakteri *endofit* hasil isolasi sampel akar *Typha latifolia* terkontaminasi air lindi TPA Piyungan

Tabel 4. 2 Morfologi bakteri *endofit* pada sampel akar *Typha latifolia*

Kode Bakteri	Morfologi							
	<i>Shape</i>	<i>Margin</i>	<i>Elevation</i>	<i>Size</i>	<i>Pigmentation</i>	<i>Apperance</i>	<i>Optical Property</i>	<i>Texture</i>
Ra	<i>Spindel</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Small</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
Rb	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	<i>Punctiform</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
Rc	<i>Irraguler</i>	<i>Undulate</i>	<i>Raised</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
Rd	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Glistening</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>
Re	<i>Rhizoid</i>	<i>Rhizoid</i>	<i>Raised</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Opaque</i>	<i>Rough</i>
Rf	<i>Filamentous</i>	<i>Filamentous</i>	<i>Raised</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
Rg	<i>Irraguler</i>	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transparant</i>	<i>Rough</i>
Rh	<i>Irraguler</i>	<i>Undulate</i>	<i>Raised</i>	<i>Large</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Dull</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
Ri	<i>Circular</i>	<i>Curlate</i>	<i>Raised</i>	<i>Moderate</i>	<i>Non-Pigmented</i>	<i>Glistening</i>	<i>Transluent</i>	<i>Smooth</i>
Rj	<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Pigmented (Cream)</i>	<i>Glistening</i>	<i>Opaque</i>	<i>Smooth</i>

4.1.1 Bakteri Terpilih

Pada penelitian ini, bakteri terpilih merupakan bakteri yang digunakan untuk uji pengolahan air lindi. Bakteri ini dipilih berdasarkan morfologi dan sifat gram yang berbeda. Pengujian sifat gram bakteri dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah identifikasi bakteri secara mikroskopik, memperjelas bentuk, dan ukuran bakteri, melihat struktur, serta mengetahui sifat fisik kimia khas dari bakteri dengan zat warna (Bulele, 2019). Selain itu pengujian sifat gram bakteri dilakukan untuk memastikan bahwa bakteri terpilih memiliki karakteristik yang berbeda. Bakteri berwarna ungu kebiruan merupakan gram bersifat positif dan bakteri berwarna merah muda memiliki sifat negatif (Wulandari, 2019). Dari 19 bakteri *endogen* tanah tercemar air lindi terpilih 7 bakteri yang digunakan untuk pengolahan air lindi yakni S2, S3, S4, S9, S10, S13, dan S19. Sedangkan bakteri *endofit* akar tanaman *Typha latifolia* yang terpilih yakni Rd, Rf, dan Rj.

Berikut merupakan hasil identifikasi sifat gram dan bentuk sel bakteri *endogen* dan *endofit* terpilih yang digunakan untuk remediasi air lindi:

Tabel 4. 3 Hasil identifikasi sifat gram bakteri terpilih

No	Sumber Bakteri	Kode Bakteri	Bentuk sel	Sifat Gram
1	Tanah Terkontaminasi	S2	<i>Bacil</i>	Gram negatif
2		S3	<i>Bacil</i>	Gram negatif
3		S4	<i>Bacil</i>	Gram positif
4		S9	<i>Coccus</i>	Gram negatif
5		S10	<i>Bacil</i>	Gram positif
6		S13	<i>Bacil</i>	Gram positif
7		S19	<i>Bacil</i>	Gram negatif
8	Akar <i>Typha latifolia</i>	Rd	<i>Bacil</i>	Gram positif
9		Rf	<i>Bacil</i>	Gram positif
10		Rj	<i>Bacil</i>	Gram positif

Dari hasil pewarnaan isolat bakteri *endogen* terdapat 3 sampel bakteri memiliki sifat gram negatif dan 4 sampel memiliki sifat positif. Bentuk sel yang dimiliki 7 sampel isolat bakteri ini terdiri atas 1 bakteri berbentuk *coccus* dan 6 sampel berbentuk *bacil*. Sedangkan untuk hasil pewarnaan gram isolat bakteri *endofit* dari akar *Typha latifolia*, 3 bakteri terpilih memiliki sifat gram positif. Untuk bentuk sel bakteri *endofit*, dari ketiga isolat bakteri yang didapatkan ketiganya memiliki bentuk sel *bacil*.

Perbedaan warna pada sifat gram bakteri terjadi karena ketika sel bakteri ditambahkan kristal violet berwarna ungu membuat sel menyerap warna dari kristal violet. Interaksi antara bakteri dengan pewarna kristal violet akan semakin kuat ketika ditambahkan lugol. Ketika sel bakteri ditetaskan dengan alkohol bakteri dengan sifat gram positif mampu mengikat kompleks kristal violet dan lugol sehingga memiliki warna sel ungu. Sedangkan untuk gram negatif ketika ditetesi alkohol akan kehilangan kompleksnya dalam mengikat kristal violet dan lugol, dan akan mengikat warna merah dari safranin. Hal ini dikarenakan lapisan peptidoglikan bakteri gram negatif lebih tipis sehingga rusak ketika terkena alkohol (Hidayat, 2016).

4.2 Hasil Pengecekan Kondisi Air Lindi Harian

Pengecekan kondisi air lindi harian dilakukan pada reaktor yang pengolahan berisi air lindi dan 10 bakteri terpilih. Selama pengolahan dilakukan pengecekan harian kondisi air lindi dengan menguji beberapa parameter seperti pH, suhu, TDS, EC, ORP dan DO. Berikut merupakan hasil pengecekan harian kondisi air lindi selama 19 hari pengolahan:

Tabel 4. 4 Hata hasil pengecekan harian parameter selama pengolahan

Reaktor	pH	Temp (°C)	EC (µs/cm)	TSD (ppm)	ORP (mV)
CR	8,72 ± 0,276 (8,44 - 8,99)	23,85 ± 1,425 (21,86 - 26,5)	2764,44 ± 169,019 (2610 - 3220)	1382,78 ± 87,097 (1300 - 1620)	-99,82 ± 13,295 (-130 - -88)
	1	8,7 ± 0,14 (8,54 - 8,84)	23,72 ± 1,856 (18,9 - 26,6)	3632,22 ± 171,037 (3490 - 4080)	1812,78 ± 83,723 (1740 - 2020)
2	8,76 ± 0,155 (8,58 - 9)	23,56 ± 1,438 (21,3 - 26)	3620,56 ± 177,481 (3440 - 4060)	1799,44 ± 91,682 (1700 - 2020)	(-100,64 ± 9,78) (-118 - -98)
3	8,74 ± 0,153 (8,61 - 9,05)	23,47 ± 1,727 (21,3 - 26,1)	3619,44 ± 160,054 (3480 - 4030)	1810 ± 75,926 (1740 - 2010)	-99,09 ± 10,578 (-121 - -91)
4	8,72 ± 0,150 (8,58 - 9,03)	23,58 ± 1,481 (21,2 - 26)	3586,67 ± 177,764 (3420 - 4000)	1785,56 ± 93,13 (1690 - 1990)	-98,73 ± 10,160 (-118 - -90)
5	8,73 ± 0,162 (8,53 - 9,01)	23,65 ± 1,787 (21,2 - 26,4)	3635 ± 167,095 (3450 -4040)	1817,22 ± 84,77 (1700 - 2010)	-99,91 ± 10,251 (-119 - -87)

Reaktor	pH	Temp (°C)	EC (µs/cm)	TSD (ppm)	ORP (mV)
6	8,72 ± 0,151	23,57 ± 1,469	3639,44 ± 176,318	1816,67 ± 89,967	-98,73 ± 9,789
	(8,56 - 9,03)	(21,3 - 26,1)	(3420 - 4060)	(1720 - 2040)	(-120 - 89)
7	8,72 ± 0,125	23,68 ± 1,815	3555 ± 172,226	1771,11 ± 92,284	-98 ± 8,786
	(8,57 - 8,87)	(18,9 - 26,3)	(3510 - 4000)	(1690 - 2030)	(-115 - 90)
A	8,67 ± 0,111	23,69 ± 1,438	3623,33 ± 164,030	1814,44 ± 73,822	-95,27 ± 8,113
	(8,52 - 8,87)	(21,3 - 26,2)	(3440 - 4060)	(1710 - 2010)	(-112 - -86)
B	8,68 ± 0,144	23,58 ± 1,449	3683,33 ± 181,497	1835 ± 80,968	95,73 ± 9,54
	(8,51 - 8,94)	(21,3 - 26)	(3460 - 4060)	(1730 - 2010)	(-115 - -86)
C	8,74 ± 0,146	23,71 ± 1,420	3620,5 ± 183,177	1800,56 ± 96,191	-100,18 ± 9,857
	(8,59 - 9,07)	(21,3 - 26,1)	(3420 - 4050)	(1670 - 2010)	(-121 - -90)

Catatan: Semua nilai merupakan rata-rata ± standar deviasi, dan nilai dalam tanda kurung menunjukkan data minimum dan maksimum (untuk n data pada parameter pH dan ORP adalah 11, sedangkan n data untuk parameter temperatur, EC, TDS adalah 18). Data yang digunakan merupakan data hasil pengecekan harian parameter selama 19 hari pengolahan. Reaktor CR digunakan untuk kontrol yang hanya berisi air lindi dan reaktor dengan kode 1-7 merupakan reaktor perlakuan dengan bakteri *endogen* tanah tercemar air lindi serta reaktor dengan kode A-C merupakan reaktor perlakuan dengan *endofit* terpilih hasil isolasi tanah dan akar *Typha latifolia* yang terkontaminasi air lindi.

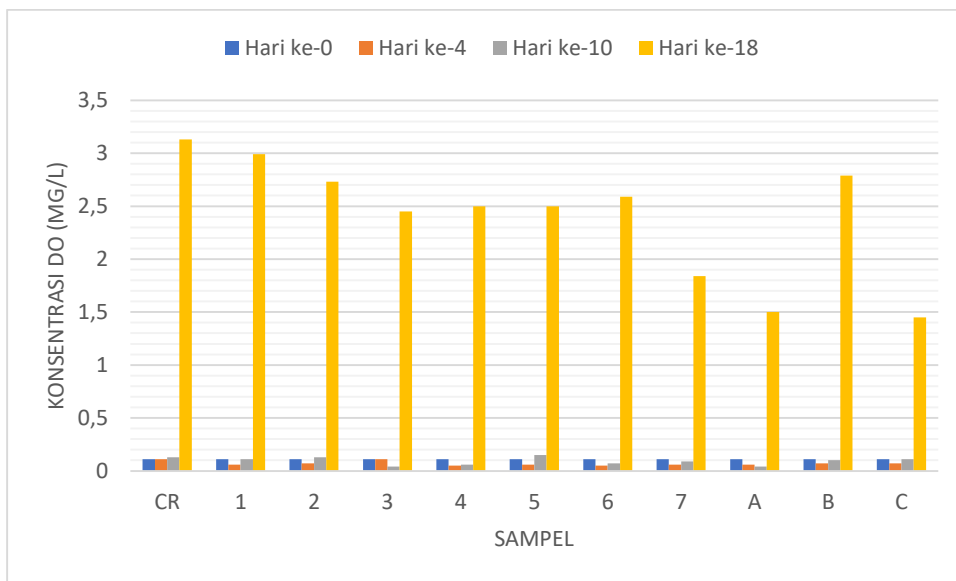
A. Suhu

Pengukuran parameter fisik berupa suhu dilakukan selama 18 kali pengukuran dimulai pada hari kedua proses pengolahan. Kondisi awal suhu air lindi berada pada suhu 24,3°C dan selama 19 hari pengolahan suhu air lindi mengalami kenaikan dan penurunan. Selama pengolahan air lindi menggunakan reaktor berlangsung, suhu dalam air lindi berkisar 18,9°C-26,5 °C. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi beragamnya suhu seperti karena pengaruh suhu udara disekitar reaktor, penyinaran sinar matahari, dan proses dekomposisi yang terjadi dalam air lindi (Sari, 2017). Kondisi suhu dalam reaktor mampu mempengaruhi keberlangsungan hidup bakteri dalam reaktor. Ketika bakteri berada dalam kondisi suhu yang tidak sesuai dengan habitatnya maka proses keberlangsungan hidup bakteri dapat terganggu. Adanya kenaikan dan penurunan suhu air mampu mempengaruhi kondisi dari biota perairan yang terbiasa hidup pada suhu yang alami termasuk bakteri. Selain itu suhu juga dapat mempengaruhi kondisi kelarutan oksigen dalam air (Handayani, 2012). Terjadinya kenaikan dan penurunan suhu dalam air lindi juga mempengaruhi parameter yang lain salah satunya DO.

Kelarutan oksigen dalam air berkurang ketika suhu meningkat dan sebaliknya, sehingga suhu mempengaruhi kandungan oksigen dalam air (Dwi, 2022).

B. Konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen*)

Pengukuran DO dilakukan menggunakan DO meter. Selama proses pengolahan kondisi DO dalam air mengalami kenaikan dan penurunan. Berikut merupakan data hasil pengukuran DO pada reaktor pengolahan air lindi:



Gambar 4. 3 Grafik hasil uji DO pada hari ke-0, 4, 10, 18. Bar adalah hasil 1 kali pengujian, CR adalah reaktor kontrol, reaktor 1-7 adalah reaktor dengan penambahan bakteri *endogen*, a-c adalah reaktor dengan penambahan bakteri *endofit*.

Pengukuran parameter DO dilakukan sehari sebelum pengambilan sampel air lindi yang digunakan untuk pengujian COD, amonia, serta warna. Hal ini dilakukan untuk memeriksa konsentrasi konsentrasi DO sebelum sampel di uji. Konsentrasi DO selama pengolahan mengalami peningkatan pada hari ke-18 pengolahan. Pada awal sebelum pengolahan konsentrasi DO sangat rendah yakni 0,11 ppm, sedangkan pada hari ke-18, konsentrasi DO berkisar 1,45 ppm hingga 3,13 ppm. Peningkatan DO dalam air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, salinitas dan tekanan atmosfer serta kepadatan organisme dalam air. Selain itu keberadaan oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari proses difusi dari udara bebas (Tahir, 2016). Sehingga peningkatan konsentrasi DO dalam air lindi dapat

terjadi akibat adanya proses difusi oksigen bebas dari udara, hal ini terjadi karena reaktor yang digunakan tidak tertutup. Sehingga hal ini memungkinkan kenaikan nilai DO pada reaktor secara alami tanpa adanya aerasi oleh aerator.

DO merupakan parameter kunci kualitas air. Semakin banyak DO dalam air maka semakin baik kondisi air. Tersedianya oksigen terlarut dalam air sangat menentukan kehidupan makhluk hidup dalam air (Mubarak, 2010). Hal ini juga terjadi pada bakteri dalam air lindi, yang mana oksigen terlarut dalam air akan digunakan oleh bakteri dalam proses penguraian bahan organik (Sa'diyah, 2018). Selain digunakan bakteri untuk membantu penguraian zat organik, nilai DO dalam air juga mempengaruhi parameter COD dan amonia. Oksigen dalam air dibutuhkan untuk terjadinya reaksi oksidasi secara kimia dalam air (Tamyiz, 2015). Selain itu oksigen juga dibutuhkan dalam reaksi oksidasi amonia menjadi nitrat .

C. pH (*Potential Hydrogen*)

Parameter pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat, larutan dan benda (Boyd dkk, 2011). Pada kondisi sebelum air lindi dilakukan pengolahan, air lindi memiliki pH yang cukup basa yakni sebesar 8,88. Selama pengolahan berlangsung nilai pH dalam air lindi masih sabil yang mana berada di kisaran 8,17-9,23. Kondisi pH dalam reaktor juga dapat mengalami peningkatan karena bahan organik dalam reaktor terdekomposisi dengan baik, hal ini membuat bahan organik terminerisasi sehingga melepaskan mineral berupa kation basa (Manurung, 2013). PH yang terlalu asam atau basa dapat menyebabkan kematian pada bakteri karena bakteri dapat tumbuh dalam kondisi pH yang mendekati netral. Namun bakteri non-ekstremofilik tumbuh pada kisaran nilai pH lingkungan yang luas yakni antara 5,5-9,0. Bakteri akan mengasamkan atau membuat basa sitoplasma dengan menyesuaikan lingkungannya (Padan dkk, 2011).

Selain mempengaruhi kondisi bakteri, kondisi pH dalam air akan mempengaruhi parameter lain seperti amonia. Nilai pH yang semakin tinggi (basa) akan mempengaruhi penurunan konsentrasi amonia semakin cepat, sehingga jumlah amonia yang hilang semakin cepat. Kenaikan pH larutan atau besarnya

konsentrasi ion hidroksida (OH^-) memberikan kondisi alkali untuk proses oksidasi amonia. Hal ini menyebabkan potensial oksidasi amonia menurun dengan bertambahnya konsentrasi ion OH^- . Dengan menurunnya potensi oksidasi amonia maka reaksi oksidasi amonia menjadi N_2 semakin cepat terjadi dan konsentrasi NH_3 cepat berkurang (Retnoningsih dan Yulia, 2010).

D. TDS (*Total Dissolve Solid*)

TDS adalah jumlah zat padat terlarut baik berupa ion organik, senyawa maupun koloid dalam air. Kondisi awal sebelum air lindi diolah nilai TDS pada air lindi adalah 1710 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pada air lindi memiliki padatan terlarut yang tinggi. Terjadinya penurunan dan peningkatan nilai TDS dapat terjadi karena proses pemecahan bahan organik berukuran besar menjadi berukuran lebih kecil atau yang sebelumnya termasuk dalam *suspenden soil*, dan nilai TDS mulai menurun karena bahan organik di manfaatkan oleh bakteri sebagai sumber energi (Ratnasari, 2020). Walaupun nilai TDS mengalami peningkatan, namun konsentrasi tersebut masih dibawah baku mutu yang ada yakni 2000 ppm.

Konsentrasi TDS yang terionisasi dalam suatu zat cair mempengaruhi konduktivitas listrik pada zat cair. Semakin tinggi konsentrasi TDS maka semakin besar konduktivitas listrik pada larutan tersebut. Selain mempengaruhi konduktivitas listrik, TDS juga mempengaruhi COD dalam air. Hal ini diakibatkan karena COD dalam perairan sebagian besar bersumber dari garam anorganik yang terlarut menjadi TDS, sehingga nilai TDS mempengaruhi COD secara linier (Hasibuan, 2021).

E. EC (*Electronic Conductivity*)

Nilai EC merupakan kemampuan untuk menghantarkan listrik dari ion-ion yang terkandung didalam nutrisi. Parameter ini menunjukkan konsentrasi ion yang terlarut, jika ion yang terlarut banyak maka semakin tinggi nilai EC. Nilai EC pada awal sebelum pengolahan adalah 3420 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Nilai EC yang cukup tinggi dipengaruhi oleh pembusukan sampah yang menghasilkan kation dan ion dalam air lindi (Marta, 2019).

Tingginya EC menunjukkan tingginya kadar garam yang terdapat dalam larutan. Nilai EC yang tinggi menunjukkan kondisi air dalam keadaan yang buruk. Nilai EC yang kecil menandakan air tersebut susah dalam menghantarkan arus sehingga kualitas air semakin bagus. Nilai EC sebanding dengan nilai TDS, yang mana jika nilai TDS naik maka nilai EC akan mengalami kenaikan. Semakin banyak jumlah padatan terlarut maka semakin banyak jumlah ion pada suatu larutan, karena jumlah padatan terlarut mengandung ion-ion yang tersusun menjadi senyawa pada padatan terlarut tersebut. Sehingga nilai TDS dan konduktivitas listrik kemungkinan memiliki hubungan yang sebanding (Afdal, 2015).

F. ORP (*Oxidation Reducion Potensial*)

ORP atau potensial redoks merupakan sebuah hasil pengukuran kecenderungan atau kekuatan suatu larutan termasuk dalam oksidator atau reduktor. Nilai positif menunjukkan air dalam kondisi oksidasi dan nilai negatif menunjukkan kondisi yang reduksi (Myres, 2019). Dalam keadaan anoksik ORP berkorelasi positif dengan DO dan COD, serta berkorelasi negatif dengan pH (Wang dkk, 2022).

Diketahui bahwa kondisi awal parameter ORP menunjukkan hasil negatif yakni -303 mV. Selama proses pengolahan air lindi nilai tersebut mengalami kenaikan. Parameter ORP menunjukkan kemampuan atau kecenderungan suatu larutan termasuk dalam oksidator atau reduktor (Setiawan, 2019). Nilai hasil uji yang negatif menunjukkan bahwa air lindi termasuk dalam larutan yang reduktor. Sedangkan nilai ORP yang positif menandakan bahwa larutan tersebut mengalami oksidasi. Nilai ORP yang naik menunjukkan adanya reaksi oksidasi dalam reaktor, yang mana hal ini ditunjukkan dengan nilai DO yang meningkat.

4.3 Analisa Parameter COD, Amonia dan Nilai warna pada Air Lindi

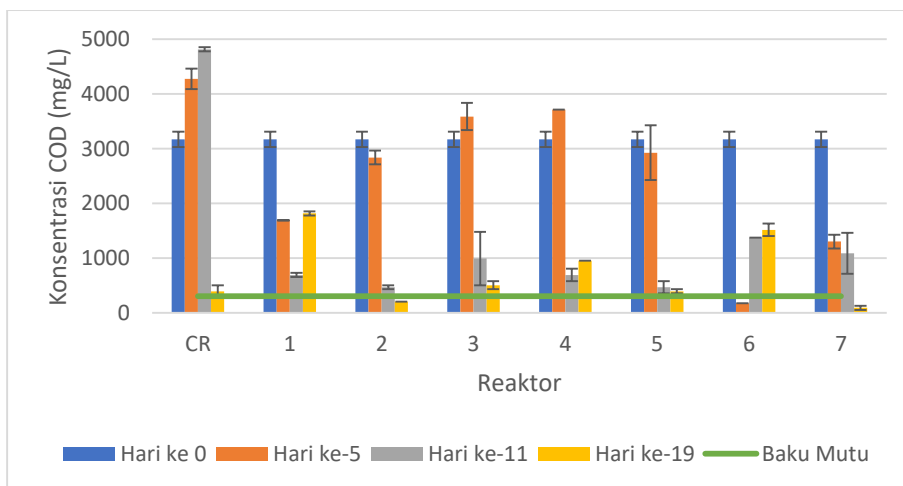
Dalam penelitian ini, untuk mengetahui kemampuan bakteri *endofit* dan *endogen* yang telah terpilih maka dilakukan pengujian terhadap parameter COD, amonia, dan warna yang terdapat dalam air lindi. Pengujian dilakukan berdasarkan

SNI yang berlaku. Dengan melakukan pengujian terhadap parameter tersebut maka akan diketahui efisiensi bakteri dalam mengolah air lindi dan dapat diketahui bakteri yang memiliki efisiensi pengolahan tertinggi.

4.3.1 Konsentrasi COD pada air lindi

A. Bakteri *Endogen*

Konsentrasi COD pada air lindi TPA Piyungan mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi selama pengujian dilakukan. Terdapat bakteri yang mampu menurunkan konsentrasi COD selama 19 hari pengolahan menggunakan reaktor. Data hasil pengujian COD pada air lindi TPA piyungan setelah dilakukan pengolahan selama 19 hari adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Grafik pengujian COD oleh bakteri *endogen*. Bar merupakan konsentrasi rata-rata, standar error menunjukkan error data dengan n= 2.

Pada gambar 4.4 merupakan grafik dari hasil pengujian COD menggunakan bakteri *endogen* dari tanah terkontaminasi air lini untuk mengolah air lindi dari TPA Piyungan. Dalam grafik terdapat *error bar* yang menunjukkan besarnya variasi dari data pengujian COD yang dilakukan. Dari gambar dapat dilihat bahwa konsentrasi dalam air lindi mengalami penurunan dan kenaikan selama 19 hari pengolahan. Namun dapat diketahui juga bahwa pada hari ke-19 konsentrasi dari COD mengalami penurunan. Konsentrasi awal COD dari air lindi adalah sebesar 3170 mg/L. Pada reaktor 1 mengalami penurunan sebanyak 1355 mg/L menjadi 1815 mg/L, reaktor 2 mengalami penurunan sebanyak 2967,5 mg/L menjadi 202,5 mg/L, reaktor 3 mengalami penurunan sebanyak 2667,5 mg/L menjadi 502,5 mg/L ,

reaktor 4 mengalami penurunan sebanyak 2218 mg/L menjadi 925 mg/L, reaktor 5 2780 mg/L menjadi 390 mg/L, reaktor 6 mengalami penurunan sebanyak 1655 mg/L menjadi 1515 mg/L, dan reaktor 7 mengalami penurunan sebanyak 3080 menjadi 90 mg/L, serta untuk reaktor CR juga mengalami penurunan sebanyak 2593 mg/L menjadi 577 mg/L.

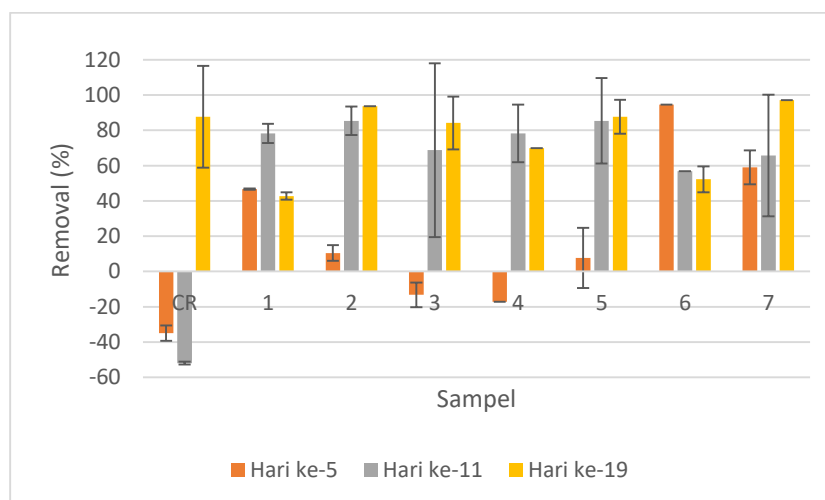
Terjadinya penurunan konsentrasi COD air lindi dalam reaktor menandakan bahwa bakteri mampu mendegradasi COD dalam air lindi. Penurunan konsentrasi COD ini menunjukkan bahwa bakteri melakukan proses metabolisme dengan memanfaatkan senyawa yang berada dalam air limbah (Patria, 2011). Penurunan konsentrasi COD juga dapat diakibatkan karena adanya oksidasi oleh bakteri yang melakukan proses perombakan bahan organik maupun anorganik dalam air limbah menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Bakteri dengan bantuan enzim akan merombak dan memecah senyawa organik dari kompleks menjadi lebih sederhana sehingga senyawa tersebut dapat masuk dan dimanfaatkan bakteri guna metabolisme sel. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri pada reaktor 2, 3, 5, dan 7, mampu mendegradasi kandungan COD melalui proses metabolisme dengan memanfaatkan senyawa dalam air lindi.

Dalam grafik terlihat bahwa terdapat beberapa reaktor menunjukkan peningkatan konsentrasi COD, hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti kondisi bakteri yang tidak baik, jumlah bakteri yang banyak dapat memicu kompetisi antar bakteri, serta waktu tinggal bakteri dalam reaktor. Bakteri yang mengalami perkembangbiakan memicu terjadinya kompetisi antar bakteri sehingga mengakibatkan penurunan kemampuan reduksi COD dalam air limbah. Bentuk kompetisi antar bakteri ini dapat berupa merebut ruang air dan zat hara, akibatnya terjadi penurunan kerjasama antar bakteri (Miwada, 2006). Sehingga pada reaktor 1, 4 dan 6 pada hari ke-19 yang mana menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi COD dapat diakibatkan karena terjadinya pertumbuhan bakteri sehingga terjadi kompetisi antar bakteri dan menimbulkan berkurangnya kemampuan dalam degradasi COD.

Pada pengujian COD air lindi ini, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD di hari ke-19 pada reaktor CR, yang mana reaktor CR merupakan

reaktor yang tidak diberikan perlakuan atau penambahan bakteri. Terjadinya penurunan konsentrasi COD juga dapat dipengaruhi karena oksigen terlarut, zat organik, dan sumber pencemar. Diketahui bahwa kondisi oksigen terlarut (DO) mengalami kenaikan pada hari ke-18, sehingga hal ini dapat menjadi salah satu pengaruh penurunan COD pada hari ke 19. Selain itu, penurunan COD juga dipengaruhi adanya kenaikan nilai DO dan penurunan suhu. Ketika suhu menurun maka nilai DO akan naik sehingga kebutuhan oksigen dalam reaksi oksidasi secara kimia terhadap bahan pencemar semakin terpenuhi. COD memiliki arti kebutuhan oksigen untuk reaksi oksidasi secara kimia terhadap bahan pencemar. Tingginya kebutuhan oksigen dalam reaksi oksidasi terhadap bahan pencemar mempengaruhi kadar oksigen yang tersedia dalam perairan. Sehingga ketika nilai DO tinggi maka ketersediaan oksigen dalam air tinggi, kebutuhan oksigen dalam reaksi oksidasi secara kimia terhadap bahan pencemar semakin terpenuhi. Hal ini yang menyebabkan nilai COD akan menurun (Tamyiz, 2015)

Selain itu, adanya penurunan konsentrasi COD pada reaktor CR disebabkan adanya pengendapan oleh partikel yang ada dalam air lindi. Hal ini menyebabkan sebagian partikel berkurang dan terjadi adanya peningkatan suplai oksigen yang mana mempengaruhi adanya penurunan COD (Wicheisa, 2018). Adanya proses pengendapan pada partikel menyebabkan kebutuhan oksigen untuk oksidasi secara kimia berkurang (Haerun dkk, 2018).



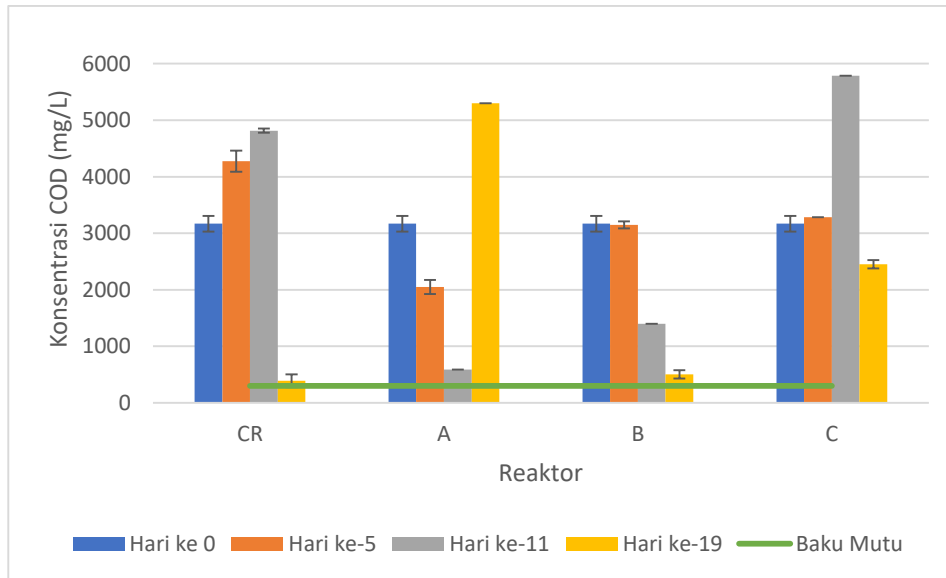
Gambar 4. 5 Grafik *removal* COD oleh bakteri *endogen*. Bar merupakan presentase removal rata-rata, standar error menunjukkan error data dengan n= 2.

Gambar 4.5 merupakan grafik presentase *removal* kadar COD oleh bakteri *endogen* selama pengolahan air lindi. Dapat dilihat bahwa terjadi adanya penurunan konsentrasi yang ditunjukkan dengan presentase *removal* yang positif dan mengalami kenaikan konsentrasi COD dengan presentase *removal* negatif. Presentase *removal* COD tertinggi pada hari ke -5 terjadi pada reaktor 6 yakni 94%, pada hari ke-11 *removal* tertinggi terdapat pada reaktor 2 dan 5 yakni sebesar 85% serta penurunan tertinggi COD pada hari terakhir terjadi pada reaktor 7 yakni sebesar 97%. Reaktor 7 sebagai reaktor dengan pengolahan COD tertinggi berisikan bakteri S19 dengan bentuk sel *Bacillus* dan sifat gram negatif. Jika hasil efisiensi *removal* COD dengan menggunakan pengolahan sistem reaktor berisi bakteri *endogen* dibandingkan dengan sistem pengolahan lain hasil yang didapatkan lebih besar, berdasarkan penelitian yang dilakukan Muhshanati (2021) yang dilakukan dengan constructed wetland menggunakan tanaman ekor kucing mampu menurunkan konsentrasi COD sebesar 82,14% dan berdasarkan penelitian Nofiyanto (2019) pengolahan air lindi dengan fikoremediasi mampu menurunkan COD sebesar 84%.

Dari hasil penurunan konsentrasi ini masih terdapat sampel yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan Permen LHK RI NOMOR P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, baku mutu COD yang diperbolehkan yakni sebesar 300 mg/L. Sedangkan hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel yang masih melebihi baku mutu adalah sampel pada reaktor 1, 3, 4, 5, dan 6, sedangkan untuk sampel reaktor 2 dan 7 sudah memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, perlu pengolahan lebih lanjut untuk air lindi agar sampel dapat dibuang ke lingkungan dan aman bagi lingkungan.

B. Bakteri *Endofit*

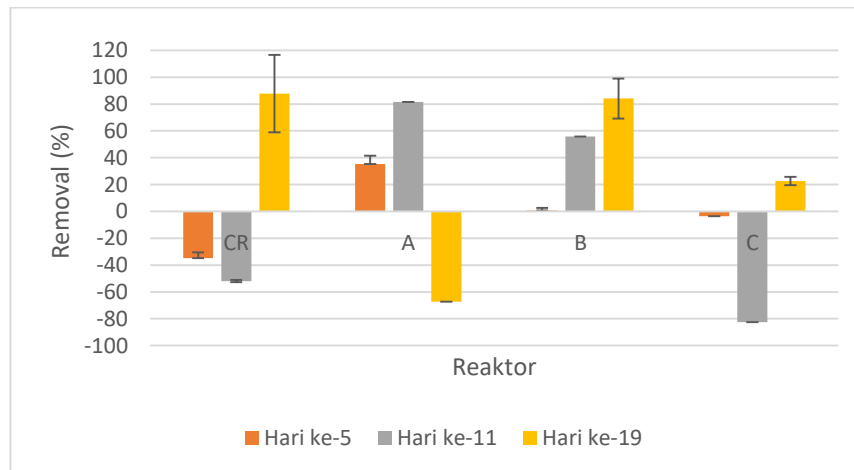
Berikut merupakan data hasil pengujian konsentrasi COD dalam air lindi setelah pengolahan bakteri dengan reaktor selama 19 hari:



Gambar 4. 6 Grafik pengujian COD oleh bakteri *endofit*. Bar merupakan konsentrasi rata-rata, standar eror menunjukkan eror data dengan n= 2.

Pada gambar 4.6 merupakan grafik dari hasil pengujian COD menggunakan bakteri *endofit* dari tanaman *Typha latifolia* untuk mengolah air lindi dari TPA Piyungan. Dalam grafik tersebut dapat diketahui bahwa terdapat penurunan maupun kenaikan konsentrasi COD setelah dilakukan pengolahan dengan reaktor berisi bakteri *endofit* selama 19 hari pengolahan. Konsentrasi COD awal pada air lindi ini adalah 3170 mg/L. Pada reaktor A mengalami kenaikan konsentrasi COD sebesar 2245 mg/L menjadi 5415 mg/L, reaktor B mengalami penurunan sebanyak 2668 mg/L menjadi 502 mg/L, dan reaktor C mengalami penurunan sebanyak 718 mg/L. Penurunan konsentrasi COD ini menunjukkan bahwa bakteri mampu untuk mengolah COD. Sedangkan konsentrasi COD yang mengalami peningkatan dapat dipengaruhi oleh perkembangbiakan bakteri yang memicu kompetisi sehingga kemampuan bakteri dalam mendegradasi COD menjadi menurun (Miwada, 2006). Walaupun pengolahan air lindi dengan bakteri *endofit* selama 19 hari mampu mengalami penurunan, namun konsentrasi akhir dari air lindi masih diatas baku mutu yang berlaku.

Penurunan konsentrasi COD dalam reaktor dapat disebabkan karena adanya proses degradasi COD oleh bakteri. Selain itu bakteri juga mengalami metabolisme dengan memanfaatkan senyawa dalam air lindi. Bakteri juga mengalami perombakan baik organik maupun anorganik air limbah menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Adanya peningkatan konsentrasi COD dalam air lindi dapat terjadi karena adanya peningkatan jumlah bakteri yang mampu memicu terjadinya kompetisi antar bakteri sehingga kemampuan degradasi COD menjadi menurun (Miwada, 2006). Sedangkan penurunan pada reaktor CR yang tidak diberi penambahan bakteri dapat terjadi karena adanya pengendapan partikel dalam air lindi, sehingga kebutuhan oksidasi secara kimia berkurang dan konsentrasi COD berkurang (Haerun dkk, 2018). Selain itu, penurunan COD juga dipengaruhi adanya kenaikan nilai DO dan penurunan suhu. Ketika suhu menurun maka nilai DO akan naik sehingga kebutuhan oksigen dalam reaksi oksidasi secara kimia terhadap bahan pencemar semakin terpenuhi sehingga nilai COD akan menurun (Tamyiz, 2015).



Gambar 4. 7 Grafik removal COD oleh bakteri *endofit*. Bar merupakan presentase removal rata-rata, standar error menunjukkan error data dengan n= 2.

Gambar 4.7 merupakan grafik presentase *removal* kadar COD oleh bakteri *endofit* selama pengolahan air lindi. Presentase *removal* tertinggi COD pada reaktor dengan bakteri *endofit* didalamnya terjadi pada reaktor B yakni sebesar 84%. Perbedaan penyisihan kandungan COD tergantung pada jenis bakteri yang mengolah air lindi. Selain itu salah satu faktor kenaikan kandungan COD dalam air

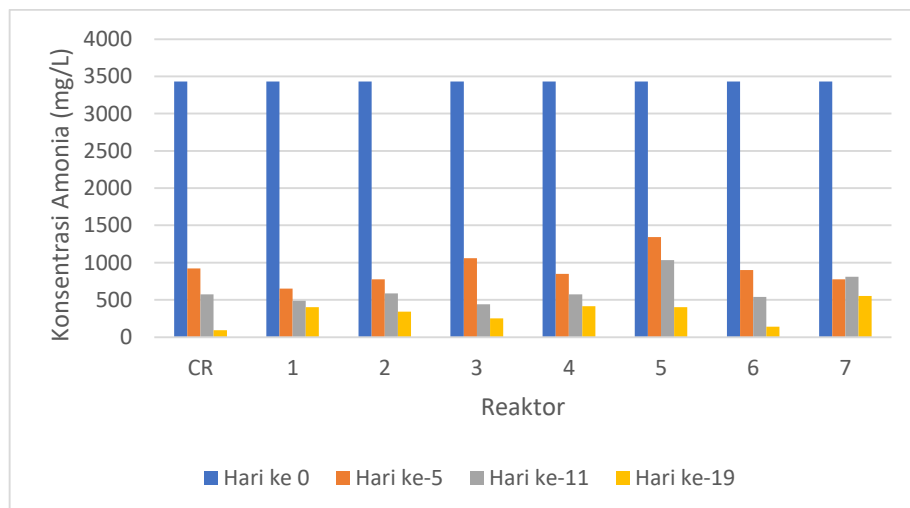
lindi adalah kondisi bakteri dalam reaktor yang berkembang biak, ketika bakteri berkembang biak cukup banyak membuat kompetitif pada bakteri sehingga mampu mengakibatkan penyisihan COD menjadi berkurang. Efisiensi *removal* tertinggi pada reaktor dengan bakteri endofit hampir sama dengan efisiensi penurunan COD dengan sistem *constructur wetland* dengan *Typha latifolia* yang dilakukan Muhshanati (2021) yakni dengan hasil penurunan COD sebesar 82%.

Hasil pengolahan air lindi dengan menggunakan sistem reaktor berisi bakteri *endofit* akar *Typha latifolia* mampu mengolah air lindi dengan presentase *removal* tertinggi 84%. Namun presentase tersebut masih belum mampu membuat air lindi memiliki konsentrasi COD yang sesuai dengan baku mutu yakni 300 mg/L. Sehingga air lindi perlu pengolahan lebih lanjut agar air lindi aman bagi lingkungan.

4.3.2 Konsentrasi Amonia pada air lindi

A. Bakteri *Endogen*

Konsentrasi amonia dalam air lindi hasil pengolahan dengan bakteri *endogen* tanah terkontaminasi air lindi selama 19 mengalami penurunan konsentrasi. Berikut merupakan data hasil pengujian konsentrasi amonia dalam air lindi setelah pengolahan selama 19 hari:



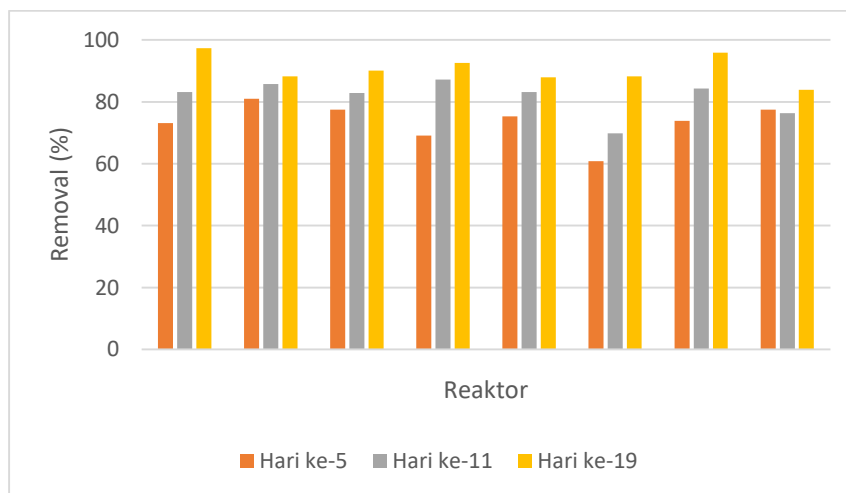
Gambar 4. 8 Grafik pengujian amonia oleh bakteri *endogen*

Pada gambar 4.8 merupakan grafik hasil pengujian amonia dengan pengolahan reaktor berisi bakteri *endofit* dari tanah terkontaminasi air lindi. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa bakteri *endofit* yang berasal dari tanah terkontaminasi air lindi mampu menurunkan konsentrasi amonia dari air lindi pada tiap minggunya. Pada gambar dapat diketahui bahwa konsentrasi amonia adalah sebesar 3962,779 mg/L. Pada hari ke 19 menunjukkan terjadinya penurunan pada semua sampel reaktor uji. Pada reaktor 1 mengalami penurunan sebanyak 3560,79 mg/L menjadi 401,98 mg/L, reaktor 2 mengalami penurunan sebanyak 3622,83 mg/L menjadi 339,95 mg/L, reaktor 3 mengalami penurunan sebanyak 3709,68 mg/L menjadi 253,1 mg/L, reaktor 4 mengalami penurunan sebanyak 3548,39 mg/L menjadi 414,98 mg/L, reaktor 5 mengalami penurunan sebanyak 3560 mg/L menjadi 401,98 mg/L, reaktor 6 mengalami penurunan sebanyak 382 mg/L menjadi 141,43 mg/L, dan reaktor 7 mengalami penurunan sebanyak 3411,9 mg/L menjadi 550,86 mg/L serta pada CR reaktor juga mengalami penurunan sebanyak 3871 mg/L sehingga menjadi 91,81 mg/L. Penurunan amonia dalam air limbah ini salah satunya disebabkan karena waktu kontak dan juga jenis bakteri yang digunakan (Nurtama, 2018).

Penurunan konsentrasi amonia pada reaktor dapat terjadi akibat adanya proses nitrifikasi. Proses ini merupakan proses pembentukan nitrit dan nitrat oleh bakteri nitrifikasi dari hasil oksidasi amonia dalam air. Proses nitrifikasi merupakan proses perubahan nitrogen amonium menjadi nitrit kemudian menjadi nitrat yang dilakukan oleh bakteri. Amonia dalam air berbentuk amonium akan mengalami oksidasi ion amonium menjadi ion nitrit yang dilakukan oleh bakteri *nitrosomonas*. Selanjutnya nitrit akan dioksidasi oleh bakteri *nitrobacter* menjadi ion nitrat. Reaksi tersebut merupakan reaksi yang menghasilkan energi (Widayat, 2010). Bakteri akan memanfaatkan amonia (NH₃) sebagai sumber energi maupun pembentukan sel. Adanya penurunan maupun peningkatan konsentrasi amonia akibat adanya proses metabolisme bakteri akan menjadikan amonia sebagai sumber makanan (Harahap, 2022). Sehingga adanya penurunan konsentrasi amonia dalam reaktor terjadi memungkinkan bahwa bakteri endogen memiliki kemampuan dalam

penurunan amonia dengan melakukan proses metabolisme, sehingga amonia akan dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Pada pengujian amonia ini, terjadi penurunan amonia pada reaktor CR, yang mana reaktor CR merupakan reaktor tanpa perlakuan atau tanpa adanya penambahan bakteri di dalamnya. Hal ini disebabkan karena oksigen terlarut mengalami kemaikan terutama pada hari terakhir. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Zelni (2005) menyatakan bahwa hubungan amonia dan DO berbanding terbalik, semakin rendah nilai DO maka semakin tinggi konsentrasi amonia. Hal ini terjadi karena reaksi pembentukan amonia membutuhkan oksigen. Sehingga pada reaktor CR mengalami penurunan akibat terjadinya kenaikan DO pada air lindi. Selain itu, berkurangnya kadar amonia dalam reaktor CR dapat terjadi akibat adanya penguapan atau volatilisasi amonia. Hal ini terjadi akibat pH dalam reaktor mengalami kenaikan hingga hingga lebih dari 8. Derajat keasaman atau pH dibawah 7 dapat menurunkan volatilisasi amonia, sebaliknya pH diatas 8 dapat meningkatkan volatilisasi amonia (Marang dkk, 2019). Nilai pH yang tinggi akan mempengaruhi penurunan amonia dalam air. Hal ini disebabkan karena pH yang tinggi akan memberikan kondisi alkali sehingga menurunkan potensial oksidasi amonia. Menurunnya potensial oksidasi emonia membuat reaksi oksidasi amonia menjadi N_2 cepat terjadi dan menyebabkan konsentrasi NH_3 cepat berkurang (Retninarsih dan Yulia, 2010).



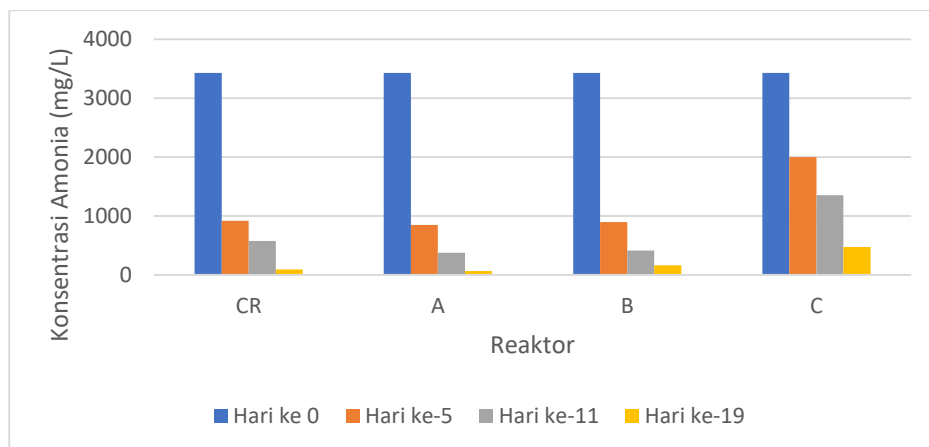
Gambar 4. 9 Grafik *removal* amonia oleh bakteri *endogen*

Gambar 4.9 merupakan grafik presentase *removal* kadar amonia oleh bakteri *endogen* selama pengolahan air lindi. Dari gambar tersebut dilihat bahwa setiap bakteri pada reaktor mampu mendegradasi atau menyisihkan konsentrasi amonia dalam air lindi. Pada reaktor 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 terjadi penyisihan amonia dalam air lindi secara berturut adalah 88%, 90%, 93%, 88%, 88%, 96%, 86%. Nilai presentase *removal* yang tinggi ini menunjukkan bahwa bakteri *endogen* maupun *endofit* mampu mendegradasi kandungan amonia dalam air lindi sehingga cukup efisien jika digunakan untuk remediasi kandungan amonia. Dari penelitian yang telah dilakukan Badejo (2018) menyebutkan bahwa presentase degradasi parameter amonia oleh bakteri berkisaran 80%-100%. Sehingga dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semua bakteri yang digunakan dalam pengolahan air lindi menggunakan reaktor ini memiliki presentase *removal* yang besar dalam mendegradasi amonia.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan konsentrasi akhir dari amonia masih belum memenuhi baku mutu yang berlaku sesuai dengan Permen LHK No.68 tahun 2016 yakni sebesar 10 mg/L. dari hasil pengujian didapatkan sampel dengan konsentrasi amonia terendah adalah 91,8 mg/L, hal ini berarti air lindi masih perlu pengolahan sebelum masuk ke lingkungan.

B. Bakteri *Endofit*

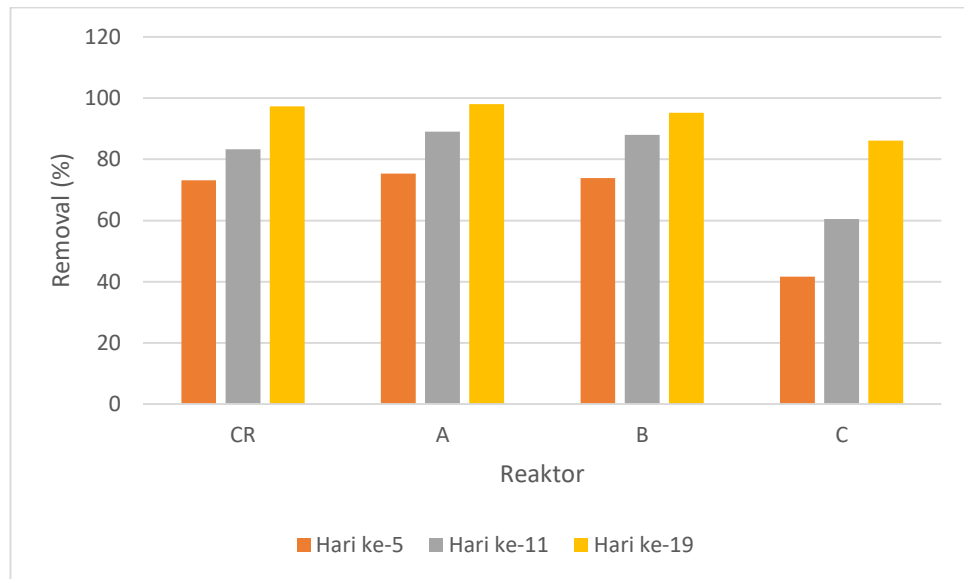
Berikut merupakan data hasil pengujian amonia dalam air lindi TPA Piyungan selama 19 hari:



Gambar 4. 10 Grafik pengujian amonia oleh bakteri *endogen*

Pada gambar 4.10 merupakan grafik dari hasil pengujian amonia menggunakan bakteri *endofit* dari tanaman *Typha latifolia* untuk mengolah air lindi dari TPA Piyungan. Dalam grafik tersebut dapat diketahui bahwa terdapat penurunan konsentrasi amonia setelah dilakukan pengolahan dengan reaktor berisi bakteri *endofit* selama 19 hari pengolahan. Konsentrasi amonia awal pada air lindi ini adalah 3962 mg/L. Pada reaktor A mengalami penurunan konsentrasi amonia sebesar 3895,78 mg/L menjadi 66,998 mg/L, reaktor B mengalami mengalami penurunan sebanyak 3796,53 mg/L menjadi 166,25 mg/L, dan reaktor C mengalami penurunan sebanyak 3486,35 mg/L menjadi 476 mg/L. Penurunan konsentrasi amonia ini menunjukkan bahwa bakteri mampu untuk mengolah amonia. Dari hasil uji tersebut juga dapat diketahui bahwa konsentrasi amonia masih belum sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan yakni sebesar 10 mg/L, sedangkan untuk konsentrasi terendah adalah sebesar 66,998 mg/L. Sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut sebelum air lindi di buang ke badan air. Sama halnya dengan bakteri endogen, bakteri endofit pada reaktor mengalami proses nitrifikasi dan denitrifikasi serta memanfaatkan amonia sebagai sumber energi maupun makanan, sehingga konsentrasi amonia dalam reaktor mengalami penurunan.

Penurunan konsentrasi amonia pada reaktor dapat terjadi akibat adanya proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Bakteri akan memanfaatkan amonia (NH₃) sebagai sumber energi maupun pembentukan sel. Adanya penurunan maupun peningkatan konsentrasi amonia akibat adanya proses metabolisme bakteri akan menjadikan amonia sebagai sumber makanan (Harahap, 2022). Pada pengujian amonia ini, terjadi penurunan amonia pada reaktor CR, yang mana reaktor CR merupakan reaktor tanpa perlakuan atau tanpa adanya penambahan bakteri di dalamnya. Hal ini disebabkan karena oksigen terlarut mengalami kenaikan terutama pada hari terakhir. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Zelni (2005) menyatakan bahwa hubungan amonia dan DO berbanding terbalik, semakin rendah nilai DO maka semakin tinggi konsentrasi amonia. Hal ini terjadi karena reaksi pembentukan amonia membutuhkan oksigen. Sehingga pada reaktor CR mengalami penurunan akibat terjadinya kenaikan DO pada air lindi.



Gambar 4. 11 Grafik *removal* amonia oleh bakteri *endofit*

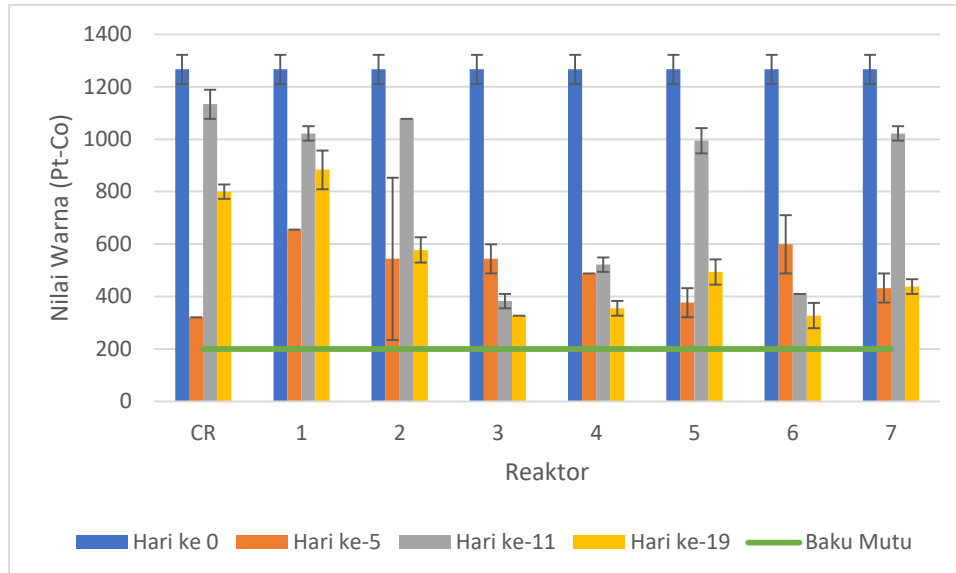
Dari gambar 4.11 dapat diketahui bahwa presentase *removal* dari bakteri *endofit* akar *Typha latifolia* dari hari ke5 hingga 19 mengalami kenaikan penyisihan konsentrasi COD. Adapun presentase *removal* pada hari terakhir pengoahan amonia dalam reaktor A, B, dan C secara berturut turut adalah 98%, 95%, dan 86%. Presentase *removal* menggunakan bakteri *endofit* akar *Typha latifolia* sesuai dengan penelitian yang dilakukan Badejo (2018) yakni menyebutkan bahwa presentase degradasi parameter amonia oleh bakteri berkisaran 80%-100%. Dare semia bakteri yang digunakan untuk mengolah amonia bakteri Rd yang memiliki bentuk sel *Basil* dan sifat gram negatif memiliki persentase *removal* tertinggi yaitu 98%. Walaupun *removal* amonia cukup besar, namun pengolahan dengan batch reaktor ini belum membuat konsentrasi amonia dalam air lindi sesuai dengan baku mutu. Sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjutan agar lindi aman bagi lingkungan.

4.3.3 Konsentrasi Warna pada air lindi

A. Bakteri *Endogen*

Nilai Warna pada air lindi TPA Piyungan mengalami kenaikan dan penurunan konsentrasi selama pengujian dilakukan. Terdapat bakteri yang mampu menurunkan nilai warna selama 19 hari pengolahan menggunakan reaktor. Data

hasil pengujian nilai warna pada air lindi TPA Piyungan setelah dilakukan pengolahan selama 19 hari adalah sebagai berikut:



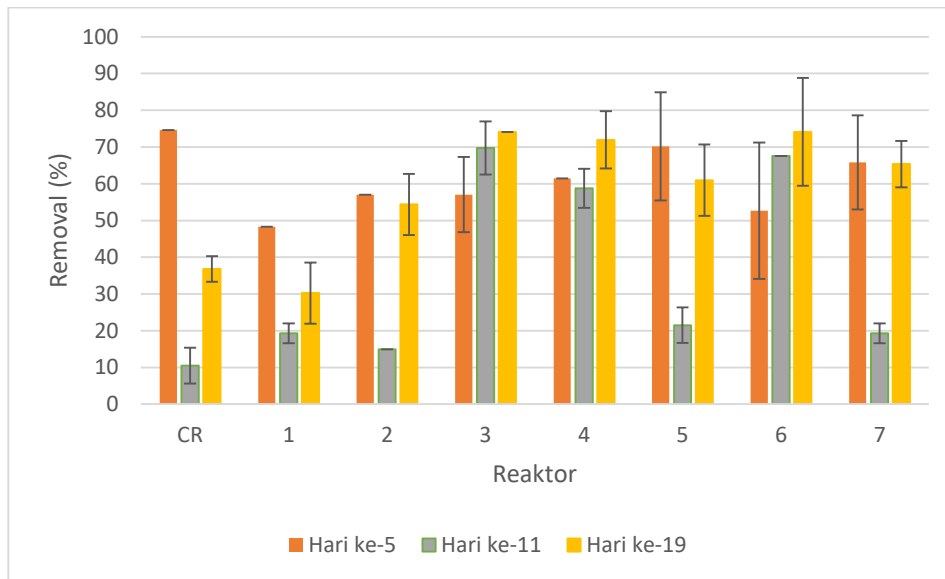
Gambar 4. 12 Hasil pengujian warna oleh bakteri *endogen*. Bar merupakan konsentrasi rata-rata, standar error menunjukkan error data dengan n= 3.

Pada gambar 4.5 merupakan grafik dari hasil pengujian warna menggunakan bakteri *endogen* dari tanah terkontaminasi air lini untuk mengolah air lindi dari TPA Piyungan. Dalam grafik terdapat *error bar* yang menunjukkan besarnya variasi dari data pengujian nilai warna yang dilakukan. Dari gambar diketahui bahwa terdapat bakteri yang mampu menurunkan nilai warna dari hari ke-5, namun terdapat pula reaktor yang mengalami kenaikan setelah hari ke-5. Berdasarkan hasil pengujian terdapat 2 bakteri yang mampu menurunkan warna air lindi sejak minggu pertama yakni bakteri 3 dan 6. Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai warna awal untuk air lindi adalah sebesar 1266,11 Pt-Co. reaktor 3 mampu menurunkan warna awal sebanyak 938 Pt-Co menjadi 327,5 Pt-Co dan untuk sampel 6 mampu menurunkan nilai warna sebanyak 938,611 Pt-Co menjadi 327,5 Pt-Co. Sedangkan untuk sampel lainnya, pengujian pada minggu pertama, ke-2 dan ke-3 mengalami penurunan dan kenaikan. Namun sampel tersebut pada akhir pengolahan yakni hari ke-19 mengalami penurunan. Pada sampel 1 mampu menurunkan warna awal sebanyak 383,06 Pt-Co menjadi 883,056 Pt-CO, 2 mampu menurunkan warna sebanyak 688,6 Pt-Co menjadi 577 Pt-Co, Th 4 mampu

menurunkan sebanyak 910,8 Pt-Co menjadi 355,27 Pt-Co, 5 mampu menurunkan sebanyak 711,9 Pt-Co menjadi 494,2 Pt-Co, dan untuk reaktor 7 mampu menurunkan nilai warna sebanyak 827,5 Pt-Co menjadi 438,611 Pt-Co serta pada CR mengalami penurunan sebanyak 466 Pt-Co menjadi 800 Pt-Co. Nilai warna yang mengalami kenaikan dan penurunan ini dapat terjadi karena bakteri masih dalam tahap adaptasi dan adanya perbedaan interval waktu regenerasi dalam memanfaatkan zat warna menjadi karbon (Septiara, 2022).

Nilai warna pada air dapat dihilangkan oleh mikroorganisme melalui dua cara, yakni dengan adsorpsi oleh mikroorganisme atau dengan degradasi pewarna oleh sel maupun enzim dalam mikroorganisme. Selain itu, bakteri memanfaatkan senyawa xenobiotik dari zat warna sebagai substrat (Jame dan Romana, 2019). Substrat sendiri dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber energi maupun digunakan dalam pembentukan sel dan produk metabolisme (Graham, 2000). Hal ini yang memungkinkan pada reaktor yang mengalami penurunan nilai warna air lindi. Nilai warna pada air lindi dalam reaktor dapat terabsorpsi maupun terdegradasi bakteri sehingga bakteri memanfaatkan senyawa hasil absorpsi maupun degradasi sebagai sumber substrat atau energi.

Penurunan nilai warna pada reaktor CR dapat terjadi akibat adanya degradasi warna dalam air lindi oleh sinar matahari. Hal ini disebut dengan fotodegradasi. Foto degradasi terjadi akibat adanya penguraian senyawa dengan bantuan energi foton yang mana dapat berasal dari sinar matahari (Salsabila, 2019). Warna air dapat dipengaruhi oleh adanya mikroorganisme, bahan warna yang tersuspensi, dan senyawa organik (Mukkaromah, 2016). Warna lindi menggambarkan besarnya konsentrasi bahan organik dalam air lindi, semakin pekat warna air lindi maka semakin tinggi kandungan organik di dalamnya (Fajariyah dkk, 2017). Sehingga adanya kenaikan nilai warna pada hari ke-11 dalam reaktor dapat dimungkinkan akibat kenaikan mikroorganisme maupun senyawa organik dalam air lindi.



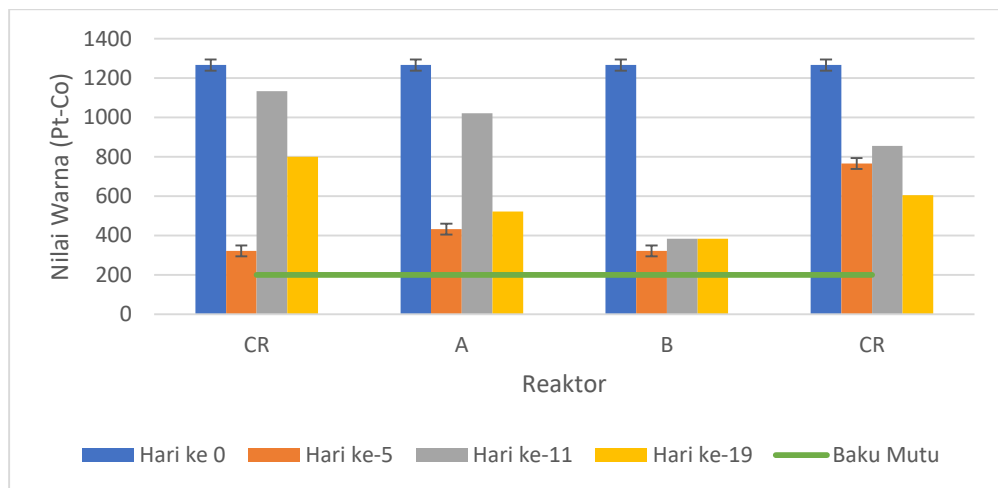
Gambar 4. 13 Grafik *removal* warna oleh bakteri *endogen*. Bar merupakan presentase *removal* rata-rata, standar error menunjukkan eror data dengan n= 3.

Gambar 4.13 merupakan grafik presentase *removal* nilai warna oleh bakteri *endogen* selama pengolahan air lindi. Dari gambar tersebut diperoleh data *removal* nilai warna pada air lindi menggunakan bakteri *endogen*. Presentase *removal* tertinggi terjadi pada reaktor 3, dan 6 yakni sebesar 74% yang mana pada reaktor tersebut diberikan perlakuan dengan penambahan bakteri S4 dan S13 yang memiliki bentuk sel *Basil* dan bersifat gram negatif. Untuk reaktor pada 2 sebesar 54%, 4 72%, 5 sebesar 61%, dan 7 sebesar 65%, Sedangkan untuk presentase *removal* terendah adalah pada reaktor 1 sebesar 30%. Semua reaktor yang digunakan untuk pengolahan memiliki presentase *removal* yang beragam. Hal ini dipengaruhi oleh jenis dan juga kondisi dari bakteri yang digunakan untuk pengolahan. Bakteri mampu mengolah warna jika bakteri telah beradaptasi sehingga mampu memanfaatkan zat warna dalam air lindi untuk kebutuhan karbonnya (Septiara, 2022). Selain itu metabolisme yang baik membantu bakteri dalam mereduksi zat warna dalam air lindi (Hsueh, 2009). Dari penelitian yang telah dilakukan Muhshanati (2021) menyebutkan bahwa presentase penurunan nilai warna dengan menggunakan sistem *construc wetland* dengan tanaman ekor kucing (*Typha latifolia*) adalah 74,04%. Sehingga efisiensi *removal* warna hampir sama pada air lindi dengan sistem *batch* dan dengan sistem *construc wetland*.

Berdasarkan hasil pengujian nilai warna pada reaktor berisis bakteri *endogen*, belum terdapat sampel yang mampu mengolah zat warna hingga sesuai dengan baku mutu yang berlaku yakni sebesar 200 Pt-Co. Air lindi masih perlu dilakukan pengolahan lanjutan agar air lindi memiliki nilai warna yang sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Sehingga air lindi aman jika dibuang dan masuk ke lingkungan.

B. Bakteri *Endofit*

Berikut merupakan data hasil pengujian nilai warna pada air lindi TPA Piyungan selama 19 hari pengolahan:

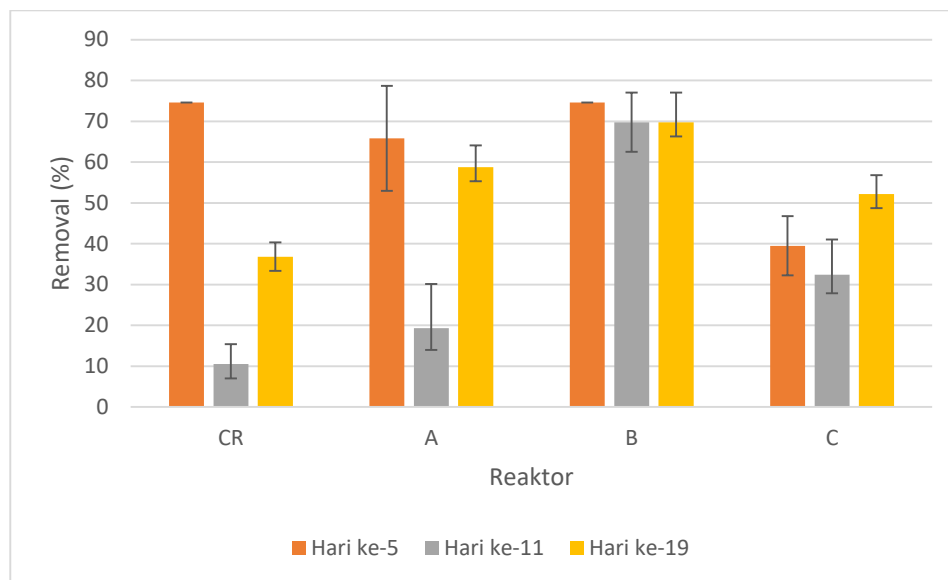


Gambar 4. 14 Grafik pengujian warna oleh bakteri *endofit*. Bar merupakan konsentrasi rata-rata, standar error menunjukkan error data dengan n= 3.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pengolahan warna pada air lindi oleh bakteri mengalami kenaikan dan penurunan pada tiap minggunya. Pada minggu pertama semua bakteri mampu menurunkan nilai warna air lindi. selanjutnya pada pengujian minggu ke-2 nilai warna pada air lindi mengalami kenaikan dan kembali turun pada minggu ke-3. Hal ini juga dapat dilihat bahwa kondisi akhir dari air lindi dapat mengalami penurunan. Adapun penurunan nilai warna pada reaktor A sebanyak 744 Pt-Co menjadi 521 Pt-Co, B sebanyak 883,1 Pt-Co dan C sebanyak 660,83 Pt-Co menjadi 605,27 Pt-Co. Nilai warna yang fluktuatif tiap minggunya ini dapat terjadi akibat bakteri masih beradaptasi. Selain itu kenaikan nilai warna juga dapat dipengaruhi karena metabolisme bakteri dalam

keadaan kurang baik, yang mana dalam reduksi zat warna dalam air lindi membutuhkan enzim azoreductase (Hsueh, 2009).

Untuk lebih jelas terkait penurunan warna dalam air lindi oleh bakteri *endofit* akar *Typha latifolia*, dapat dilihat dari gambar grafik berikut:



Gambar 4. 15 Grafik *removal* warna oleh bakteri *endofit*. Bar merupakan presentase *removal* rata-rata, standar error menunjukkan eror data dengan n= 3.

Gambar 4.15 merupakan grafik presentase *removal* warna oleh bakteri *endofit* selama pengolahan air lindi. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa presentase *removal* tertinggi pada pengolahan terjadi pada hari ke-5 yakni A sebesar 59%, B sebesar 75% dan C sebesar 39%. Dari ketiga reaktor bakteri *endofit* tersebut, B memiliki presentase *removal* tertinggi untuk menurunkan nilai warna pada hari terakhir. Namun presentase *removal* reaktor 3 dan 6 dari berisi bakteri S4 dan S13 dengan bentuk sel *Basil* dan sifat gram positif dari *endogen* akar tanaman *Typha latifolia* masih lebih besar dibandingkan reaktor berisi bakteri *endofit*.

Berdasarkan hasil pengujian niali warna pada reaktor berisis bakteri *endofit* akar *Typha latifolia*, belum terdapat sampel yang mampu mengolah zat warna hingga sesuai dengan baku mutu yang berlaku yakni sebesar 200 Pt-Co. Air lindi masih perlu dilakukan pengolahan lanjutan agar air lindi memiliki nilai warna yang sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Sehingga air lindi aman jika dibuang dan masuk ke lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Bakteri *endogen* dan *endofit* hasil isolasi tanah dan akar tanaman *Typha latifolia* yang digunakan untuk pengolahan air lindi dalam penelitian ini memiliki morfologi bentuk struktur koloni berupa *shape* berupa *circular*, *filament*, *irreguler*, dan *filamentous*, *margin* berupa *entire*, *undulate*, *lobate*, dan *fillament*, *elevation* berupa *pulfinate*, *convex*, *raised*, dan *flate*, berpigmen dan tidak berpigment, memiliki *optical property* *transluent*, *transparent* dan *opaque*. Selain itu, 3 bakteri bersifat gram negatif dan 7 bakteri bersifat positif, serta 9 bakteri memiliki bentuk *bacil* dan 1 bakteri berbentuk *coccus*.
2. Bakteri yang digunakan untuk mengolah air lindi mampu mengurangi konsentrasi COD sebesar 43%-97%, konsentrasi amonia sebesar 86%-98%, dan nilai warna sebesar 30-74%. Adapun bakteri yang mampu mengolah parameter dengan persen *removal* tertinggi pada air lindi adalah T7 yang mampu mengolah COD dalam air lindi yang mana memiliki sifat gram negatif dan bentuk sel *Bacil*, A yang mampu mengolah amonia yang memiliki sifat gram positif dan bentuk *Bacil*, serta bakteri 3 dan 6 yang mampu mereduksi zat warna tertinggi dengan sifat gram positif dan bentuk sel *Bacil*.

5.2 Saran

3. Berdasarkan hasil pengujian parameter COD, amonia, dan warna pada air lindi selama 19 hari diperlukan pengolahan air lindi lebih lanjut agar konsentrasi parameter tersebut dapat terdegradasi dan terolah dengan baik sehingga dapat memenuhi baku mutu dan tidak mencemari lingkungan.

4. Proses aklimatisasi pada tanaman *Typha latifolia* perlu dilakukan lebih lama agar akar dapat tumbuh dengan baik dan banyak sehingga siap jika digunakan untuk mendegradasi air lindi.
5. Perlu dilakukan pengambilan data yang berkala sehingga dapat mengetahui fenomena yang terjadi.
6. Penelitian dengan Tanaman maupun reaktor perlu dilakukan dalam jangka waktu yang lebih lama sehingga mampu mengurangi polutan dalam air lindi secara maksimal dan menghasilkan *effluent* yang memenuhi baku mutu yang berlaku.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afdal, I.A. 2015. Analisis Pencemaran Danau Maninjau dari Nilai TDS dan Konduktivitas Listrik. *Jurnal Fisika Unand*. 4(4): 325-331.
- Afrianto, L. (2004). Menghitung Mikroba Pada Bahan Makanan, Cakrawala (Suplemen Pikiran Rakyat Untuk IPTEK). *Fakultas Matematika Ilmu dan Pengetahuan Alam, Program Studi Farmasi, Institut Teknologi Bandung (ITB)*, Bandung.
- Afifah, Y., & Mangkoedihardjo, S. (2018). Studi Literatur Pengolahan Air Limbah Menggunakan Mixed Aquatic Plants. *Jurnal Teknik ITS*. 7(1): F228-F232.
- Aisyah, L. 2021. **Identifikasi Bakteri dari Tanah dan Akar Tanaman vetiveria Zizanioides untuk menurunkan Konsentrasi Logam Limbah Tenun.** Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Ali. 2021. *Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. Surabaya: UPN Press.
- Aminati, Kalfi. 2006. **Efektifitas Teknologi Membran Keramik terhadap Penurunan Konsentrasi Besi (Fe) dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Cair Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan Jogjakarta.** Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Atima, W. 2015. Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. 4(1): 83-93.
- ATCC. (2021). Introduction to microbiology. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. 12(1s): 1–2. <https://www.atcc.org/resources/culture-guides/introduction-to-microbiology>.
- Backman. P. A., & Sikora, R. A. (2008). Endophytes: An emerging tool fobiological control. *Biological Control*. 46(1). 1–3.

- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Pemerintah Kota Yogyakarta. Diakses melalui : <https://bappeda.jogjakota.go.id/detail/index/21096>.
- Badejo, A. A., Omole, D. O., & Ndambuki, J. M. (2018). Municipal wastewater management using *Vetiveria zizanioides* planted in vertical flow constructed wetland. *Applied Water Science*. 8:1-6.
- Bulele, T., Fredine E.S.Rares, dan John Porotu'o. 2019. Identifikasi Bakteri dengan Pewarnaan Gram pada Penderita Infeksi Mata Luar di Rumah Sakit Mata Kota Manado. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*. 7(1).
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., dan Viriyatum, R.. 2011. Interpretation of pH, Acidity, and Alkalinity in Aquaculture and Fisheries. *North American Journal of Aquaculture*. 73: (403-408).
- Damanhuri, E. 2001. *Statistika Lingkungan*. Institut Teknologi Bandung. Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Diarti Maruni Wiwin, Rohmi, Yuri Syaffitri kinanti Achmad, Yunan Jiwintarum. 2017. Karakteristik Morfologi, Koloni dan Biokimia Bakteri yang Diisolasi dari Sedimen Laguna Perindukan Nyamuk. *Jurnal Kesehatan Prima*. 11(2): 124-136.
- Disyamto, D. A., Elystia, S., & Andesg, I. (2014). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Thypha Latifolia* Dengan Proses Fitoremediasi. *JOM FTEKNIK*. 1(2).
- Dwi, E., Elina, M., dan Aisyah, S.N. 2022. The Oxygen Drinking Water. *Jurnal Polsri*
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Edisi 5. Penerbit Kanisius :Yogyakarta.
- Fajariyah, Chusna Mangkoedihardjo, Sarwoko. 2017. Kajian Literatur Pengolahan Lindi. *Jurnal Teknik ITS*. 6 (2): D191-D196.
- Fikri Daryat, Delita Zul, Bernadeta L, dan Fibrianti. 2017. Analisis Kualitas Air Lindi Asal Tempat Embuangan Akhir Sampah Kota Pekanbaru Berdasarkan Parameterbiologi, Fisika DanKimia. *Jurnal Riau Biologia*. 2(1) : 68-80.

- Graham, P. (2000). *Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal*. USA: Water Environment Federation.
- Hadiwidodo, M, 2012. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob dan Wetland. *Jurnal Presipitasi*. 9(2):84-95
- Haerun, R., Anwar Mallongi, dan Muh. Fajaruddin Natsir. 2018. Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Biofilter Sistem Upflow Dengan Penambahan Efektif Mikroorganisme 4. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan (JNIK)*. 1(2): 1-11.
- Handayani, N., I., Setia Budi Sasongko, dan Ahus Hidayarto. 2012. Kajian Parameter Suhu dalam Baku Mutu Air Limbah Industri Gula Jenis Air Limbah Kondensor di Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Harahap, J, Mutia Z., Yahya H., dan Syafrina S.L. 2022. Penyisihan Konsentrasi Amonia (NH₃) Menggunakan Metode Moving Bed Reaktor (MBBR) Sederhana Pada Limbah Industri Pupuk Urea. *Jurnal Of Biological Science And Applied Biology*. 2(2): 42-51.
- Hasibuan, E.S.F., Endang, S., Supriyantini, dan Sunaryo. 2021. Pengukuran Parameter Bahan Organik Di Perairan Sungai Silugonggo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati. *Buletin Oseanografi Marina*. 10(3):299-306
- Hidayat, H. (2015). Identifikasi Morfologi dan Uji Aktivitas Antimikroba Terhadap Bakteri Escherichia coli Dari Fermentasi Buah Markisa (Passiflora sp.). *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*. 15(1-2) : 75–84.
- Himmah, NIF., Aminudin, Fitriani BR Milala. 2009. **Potensi Limbah Air Lindi oleh Pseudomonas Fluoresens Sebagai Probiotik Tanaman**. Karya Tulis. Institut Pertanian Bogor.
- Huang Li-Nan, Hui Zhou, Shuang Zhu, Liang-Hu Qu. 2004. Phylogenetic diversity of bacteria in the leachate of a full-scale recirculating landfill. *FEMS Microbiology Ecology*. 50:175-183.

- Ida Dwiningrum. 2002. **Identifikasi Jenis dan Jumlah Mikroba pada Leachate dan Sludge dalam Sampah di Tpa Jatibarang**. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ismail, M. 2020. **Efektivitas Bakteri Indigenous Dalam Mendegradasi Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Tenun**. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia
- Jamee. R, dan Romana Siddique. 2019. Biodegradation of Synthetic Dyeas of Textile Effluent by Mikroorganisms: An Enviromentally and Economically Sustainable Approach. *European Journal of Microbiology & Immunology*. 9(4): 114-118
- Kandel, S., Joubert, P., & Doty, S. (2017). Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants. *Microorganisms*. 5(4): 77.
- Kartikasari Ika Bayu, Dr. M. Widyastuti, M.T., dan Dr. Suwarno Hadisusanto, M.S. 2020. Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada Daphnia sp. dengan Whole Effluent Toxicity. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 18(2): 297-304.
- Kasam. 2011. Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 3(1) : 019-030.
- Khamid, Mohamad Abdul, Surahma Asti Mulasari. 2013. Identifikasi Bakteri Aerob Pada Lindi Hasil Sampah Dapur di Dusun Sukunan Yogyakarta. *Disease Prevention and Public Health Journal*. 6(1): 41-74.
- Kurniawati, A., Nugroho, A. S., & Kaswinarni, F. 2015. Dampak lindi TPA Jatibarang terhadap keanekaragaman dan kelimpahan plankton di perairan Sungai Kreo Kota Semarang. In *Prosiding Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS* (pp. 708-713).
- Maharani Khalifina. 2022. **Identifikasi Bakteri Indigenous Untuk Meningkatkan Degradasi COD Pada Pengolahan Limbah Tenun Menggunakan Sistem Floating Treatment Wetland (FTW)**. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia

- Manurung, R. H. 2013. **Pengaruh Pemberian Kompos Kulit Durian pada Entisol, Inseptisol, dan Ultisol Terhadap Beberapa Aspek Kesuburan Tanah (pH, C Organik, dan N Total) serta Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). Skripsi Ilmu Tanah.** Tesis. Universitas Sumatera Utara.
- Maulana, M. Nidhamul. 2019. **Identifikasi Bakteri pada Lindi di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (Tpst) 3R Mulyoagung Bersatu Kecamatan Dau Kabupaten Malang dan Kajian Implementasinya sebagai Sumber Belajar Biologi.** Undergraduate (S1) thesis. University of Muhammadiyah Malang.
- Marang, E.A.F., L.D. Mahfudz., T.A. Sarjana., dan S. Setyaningrum. 2019. Kualitas dan Kadar Amonia Litter Akibat Penambahan Sinbiotik dalam Ransum Ayam Broiler. *Jurnal Peternakan Indonesia*. 21(3): 303-310.
- Mayori, Amara. 2022. **Unjuk Kerja Aerated dan Floating Wetland Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri untuk Removal Kandungan BOD, COD, dan Amonia pada Air Limbah Tenun.** Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- Miwada, I. N. S., Lindawati, S. A., & Tatang, W. (2006). Tingkat Efektivitas " Starter" Bakteri Asam Laktat Pada Proses Fermentasi Laktosa Susu [The Effectiveness of Lactic Acid Bacteria on Milk Lactose Fermentation Process]. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 31(1). 32-35.
- Mubarak, A. Shofy, Diah Ayu Satyari, dan Rahayu Kusdarwati. 2010. Korelasi antara Konsentrasi Oksigen Terlarut pada Kepadatan yang Berbeda dengan Skoring Warna Daphni spp. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 2(1): 45-50.
- Muhsanti, N. (2021). **Penurunan intensitas warna lindi TPA Regional Blang Bintang dengan Proses Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Air Ekor Kucing (*Thypha Latifolia*).** Tesis. UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

- Mukaromah, R. 2016. **Analisis Sifat Fisis Dalam Studi Kualitas Air Di Mata Air Sumber Asem Dusun Kalijeruk, Desa Siwuran, Kecamatan Garung, Kabupaten Wonosobo**. Skripsi. Universitas Negeri Semarang
- Muryani, E., dan Ika Wahyuning Widiarti. 2018. Konsentrasi BOD Dan COD Air Lindi Dengan Perlakuan Fitoremediasi Tanaman Teratai (*Nymphaea Sp.*) dan Apu-Apu (*Pistia Stratiotes L.*) (Studi Kasus TPA Jetis Purworejo). *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*. 2(2): 72-86.
- Nafisah, A. 2020. **Degradasi kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Tenun oleh Bakteri Endofit**. Skripsi. Universitas Islam Indonesia
- Nurtana, R. (2018). **Analisis removal logam pada air limbah balai yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia menggunakan tanaman Vetiver (*vetiveriza zizanioides*) dan bakteri dengan metode floating treatment wetland**. Skripsi. Universitas Islam Indonesia
- Nofiyanto Erwin, Tri Ratnaningsih dan Munifatul Izzati. 2019. Fikoremediasi Kualitas Lindi TPA Jatibarang terhadap Efektifitas Lemna Minor L dan *Ipomoea aquatic* Forkks. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 17(1): 107
- Novitasari Evelin, Edelbertha Dalores Da Cunha, dan Chandra Dwiratna Wulandari. 2016. Pemanfaatan Lindi Sebagai Bahan EM\$ dalam Proses Pengomposan. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*. Hal 115-120.
- Padan, E., Eitan Bibi, Masahiro Ito, dan Terry A. Krulwich. 2011. Alkaline pH Homeostatis in Bacteria. *New Insights. Biochim Biophys Acta*. 1717(2): 67-88.
- Permen LHK RI NOMOR 16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Permen LHK RI NOMOR 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.
- Permen LHK Nomor 68 tahun 2016 tentang baku Mutu Air Limbah Domestik
- Pourcher Anne-Marie, Laurent Sutra, Isabelle Hebe, Gerard Moguedet, Claude Bollet, Philippe Simoneau, Louis Gardan. 2001. Enumeration and

- characterization of cellulolytic bacteria from refuse of a landfill. *FEMS Microbiology Ecology*. 34 : 229-241.
- Joseph, B., & Priya, R. M. 2011. Bioactive Compounds from Endophytes and their Potential in. *Am. J. Biochem. Mol. Biol*, 1(3), 291-309.
- Pusparinda, L. dan Irwan Bagyo Santoso. 2016. Studi Literatur Perencanaan Floating Treatment Wetland di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2): 471-475.
- Pusporini, Anisah Dyah. 2016. **Biodiversitas Bakteri Pada Tanah Tercemar Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Supit Urang Kota Malang**. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rabbani, R., Mutik Ulya Audita, dan nada Hamida. 2022. Potensi Bioremediasi dengan Pemanfaatan Bakteri Indigenous dalam Menurunkan Nilai BOD-COD Limbah Air TPST Piyungan. *KIST UIN SUKA*. 1(1): 14-20.
- Rahmatullah Widia, Erliana Novianti, Ana Dewi Lukita Sari. 2021. Identifikasi Bakteri Udara menggunakan Teknik Pewarnaan Gram. *Jurnal Ilmu Kesehatan Bhakti Setya Medika*. 6(2):83-91.
- Rahmi Alfi dan Bambang Edison. 2019. Identifikasi Pengaruh Air Lindi (Leachate) terhadap kualitas Air di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tanjung Belit. *Jurnal APTEK*. 11(1):1-6.
- Ramadhan Muhammad Rifqi dan Jazaul Ikhsan. 2020. Pengaruh Air Lindi (Leachate) TPST Piyungan terhadap Kualitas Air di Sungai OPAK. *Proceedings The 1st UMYGrace 2020*. Hal: 375-386.
- Retnoningsih, M., dan Yulia M. 2010. **Pengaruh pH, Konsentrasi Awal Ammonia dan Waktu Operasional pada elektrolisa Ammonia**. Thesis. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik. UNDIP
- Ryan, R. P., Germaine, K., Franks, A., Ryan, D. J., & Dowling, D. N. 2008. Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS microbiology letters*. 278(1): 1-9.
- Sabbatani. G.C., Sri Pujiyanto, Wijanarka, dan Puspita Lisdiyanti. 2017. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Genus Sphingomonas dari Daun Padi (*Oryza Sativa*) di Area Persawahan Cibinong. *Jurnal Biologi*. 6(1):59-64.

- Sabdaningsih Aninditia, Anto Budiharjo, Endang Kusdiyantini. 2013. Isolasi dan Karakteristik morfologi koloni bakteri Asosiasi Alga Merah (Rhodophyta dari Perairan Kutuh Bali. *Jurnal Biologi*. 2(2): 11-17.
- Said, Nusa Idaman, dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja. 2015. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi. *JAI*. 8(1): 1-20.
- Salsabila, F. 2019. *Mengubah Limbah Air dalam Rumah Tangga menjadi Air Bersih dengan Fotokatalis*.
- Sari.R.N., dan Afdal. 2017. Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unad*. 6(1): 93-99.
- Setiawan, A., Nazhaira Shadrina, dan Zeni Anggraini. 2019. Penyebaran Parameter Fisika Air Tanah Pada Calon Tapak Borehole Disposasi Di Kawasan Nuklir Serpong. *Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR*. Hal: 257-269.
- Septiara, N. (2021). **Identifikasi Bakteri Indegineous Untuk Meningkatkan Degradasi Zat Warna Pada Pengolahan Limbah Tenun Menggunakan Sistem Floating Treatment Wetland (FTW)**. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Setyaningrum, D., Zuffa Anisa, dan Hani Prima Rasyda. 2022. Pengujian Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Tinggi Kalsium Klorida Menggunakan Metode Refluks Terbuka. *Formosa Journal of Science and Technology*. 1(4): 353-362.
- Shehzadi, M., Fatima, K., Imran, A., Mirza, M. S., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2016). Ecology Of Bacterial Endophytes Associated With Wetland Plants Growing In Textile Effluent For Pollutant-Degradation And Plant Growthpromotion Potentials. *Plant Biosystems*. 150(6). 1261–1270.
- Singleton and Sainsbury. 2006. *Dictionary of Mikrobiologi and Molecular Biology 3rd Edition*. John Wileyand Sons. England. Hal 908.
- Soesetyaningsih & Azizah. 2020. Akurasi Perhitungan Bakteri pada Daging Sapi Menggunakan Metode hitung Cawan. *Berkala Sainstek*. 8(3): 75-79.

- Song Liyan, Yangqing Wang, Heping Zhao dan David Long. 2015. Composition of bacterial and archaeal communities during landfill refuse decomposition processes. *Microbiological Research*. 181: 105-111.
- Stewart, F. M., Mulholland, T., Cunningham, A. B., Kania, B. G., & Osterlund, M. T. 2008. Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes - Results of laboratory-scale tests. *Land Contamination and Reclamation*. 16(1), 25–33.
- Suhendrayatna, Marwan, R. Andriani, Y. Fajriana and Elvitriana. 2012. Removal of Municipal Wastewater BOD, COD, and TSS by Phytoreduction: A Laboratory-Scale Comparison of Aquatic Plant at Different Species *Typha latifolia* and *Sachrarum Spotaneum*. *International Journal of Engineering Innovative Technology (IJEIT)*. 2(6).
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S. 2004. Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – Biofilter Anaerobic. *Jurnal Tek.Ling - P3TL – BPPT* . 5: 167 – 173.
- Tamyiz, M. 2015. Perbandingan Rasio BOD/COD pada Area Tambak di Hulu dan Hilir terhadap Biodegradabilitas Bahan Organik. *Jurnal of Research and Technology*. 1(1): 9-15
- Thomas Rezky Adipratama, Dian Hudawan Santoso. 2019. Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Airtanah Dan Teknik Pengolahan Air Lindi di TPA Banyuroto Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Science Tech*. 5(2): 1-12.
- Tchobanoglous. 1993. *Integrated Solid Wastes Management, Engineering Principles and Management Issue*. McGraw-Hill. Inc: New York.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- Usman, S. dan Imam Santosa. 2014. Pengolahan Air Limbah Sampah (Lindi) Dari Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) Menggunakan Metoda Constructed Wetland. *Jurnal Kesehatan*. 5(2): 98-108.
- Wang, X., Yuxing, W., Ning, C., Heng, P., Delin, S., Harsha, R., Zakhar, M., dan Xuejun, B. 2022. Characterization of Oxidation-Reduction Potential

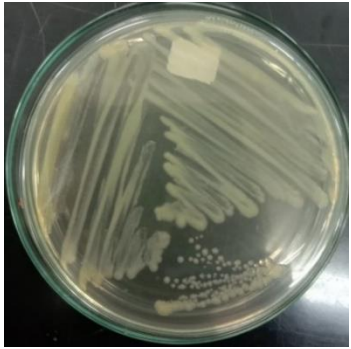

- Variations in Biological Wastewater Treatment Processes: A Study from Mechanism to Application. *MDPI*. 10(2)
- Wicheisa, Fransiska Vony (2018) . Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (Cod) pada Limbah Cair Laundry Orens Tembalang dengan Berbagai Variasi Dosis Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 6(6)
- Widiyanti, Atik., Wibisono, Catur L., dan R. Marizatur. 2018. Pengaruh Typha latifolia pada Rasio BOD/COD Lindi TPA Kabupaten Sidoarjo. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technologi*
- Widayat, W., Suprihatin, dan Arie Herlambang. 2010. Penyisihan Amoniak Dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Air Baku Pdam-Ipa Bojong Renged dengan Proses Biofiltrasi Menggunakan Media Plastik Tipe Sarang Tawon. *JAI*. 6(1): 64-76.
- Wulandari Destik, dan Desi Purwaningsih. 2019. Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri Milotik Pada UMBI Colocasia esculenta L. Secara Morfologi, Biokimia, dan Molekuler. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*. 6(2): 247-258.
- Xa F.F, dkk. 2014. Diversity and activity of sulphur-oxidizing bacteria and sulphate-reducing bacteria in landfill cover soils. *Letters in Applied Microbiology ISSN 0266-8254*. Hal 26-34.
- Yatim Erni Mahluddin dan Mukhlis. 2013. Pengaruh Lindi (Leachate) Sampah terhadap Air Sumurpenduduk Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Dingin. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 7(2): 54-59.
- Yazid, M. 2014. Peranan Isolat Bakteri Indigenous Sebagai Agen Bioremediasi Perairan Yang Terkontaminasi Uranium. *Jurnal Iptek Nuklir Genendra*. 17(1): 35-44
- Zilni, M. 2005. **Studi kualitas air sungai batang arau pada musim hujan (parameter NH₃, NO₂, dan NO₃)**. Tugas Akhir. Universitas Andalas,

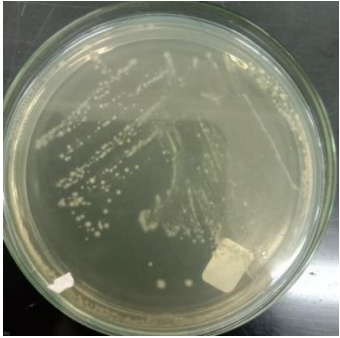
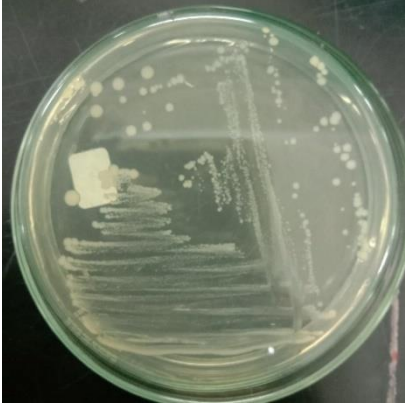

LAMPIRAN

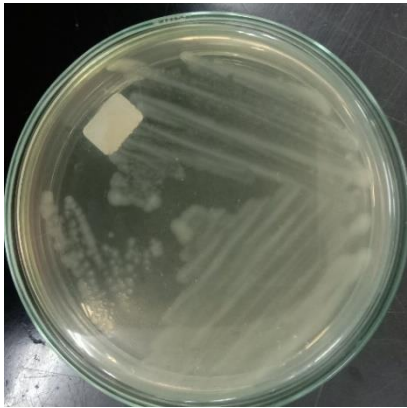
Lampiran 1 Nilai *Optical Density* Kultur Bakteri

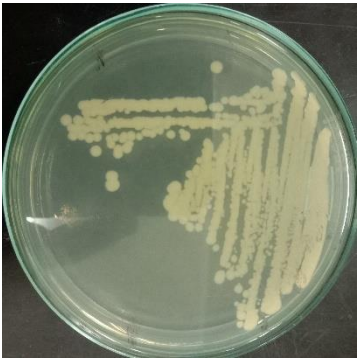
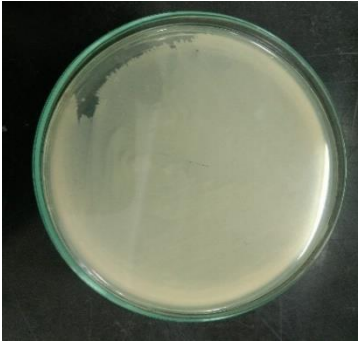

Nama Bakteri	Nilai OD
1	0,342
2	0,264
3	0,546
4	0,25
5	0,325
6	0,506
7	0,224
A	0,158
B	0,473
C	0,079

Lampiran 2 Morfologi Bakteri Endogen Terpilih

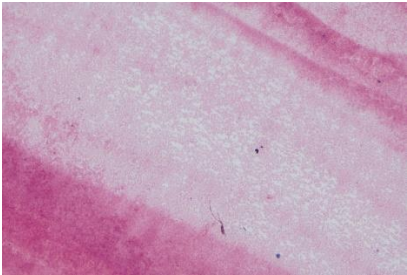
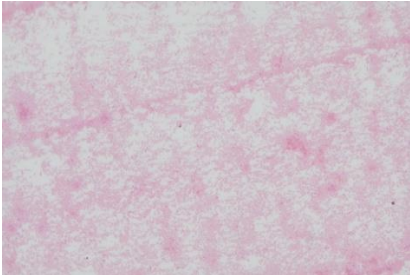
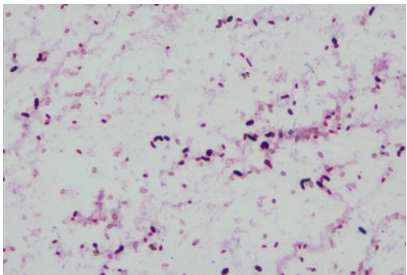
No	Kode Bakteri	Gambar	Morfology	
1	1		<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Pulfinate</i>
			<i>Size</i>	<i>Large</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Pigmentattion (Yellow)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>
			<i>Optical Property</i>	Transluent
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
2	2		<i>Shape</i>	<i>Filamen</i>
			<i>Margin</i>	<i>Undulate</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Pulfinate</i>
			<i>Size</i>	<i>Moderat</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmentation</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Dull</i>

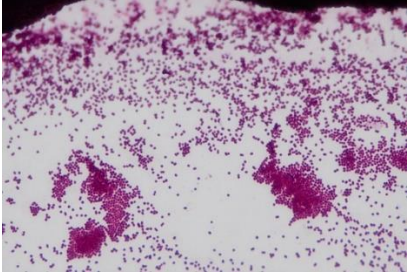
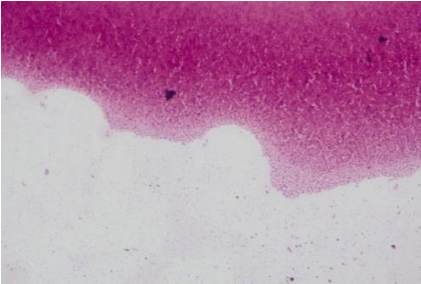
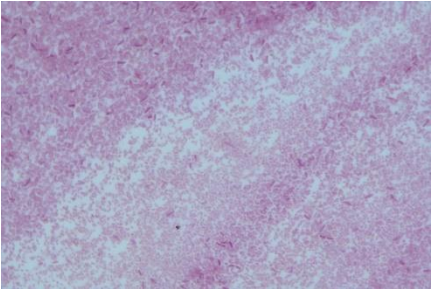
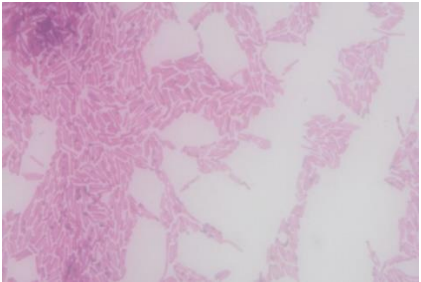
No	Kode Bakteri	Gambar	Morfology	
			<i>Optical Property</i>	<i>Opaque</i>
			<i>Texture</i>	<i>Rough</i>
3	3		<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Pulfinate</i>
			<i>Size</i>	<i>Moderat</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmentation</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>
			<i>Optical Property</i>	<i>Transparant</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
			<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
4	4		<i>Elevation</i>	<i>Convex</i>
			<i>Size</i>	<i>Small</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Pigmentattion (Cream-Pink)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glisteninig</i>
			<i>Optical Property</i>	<i>Opaque</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
			<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Pulfinate</i>
			<i>Size</i>	<i>Large</i>
5	5		<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmentation (Cream-White)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>

No	Kode Bakteri	Gambar	Morfology	
			<i>Optical Property</i>	<i>Transluent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
6	6		<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Raised</i>
			<i>Size</i>	<i>Moderat</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmentation</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>
			<i>Optical Property</i>	<i>Transluent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
			7	7
<i>Margin</i>	<i>Lobate</i>			
<i>Elevation</i>	<i>Flat</i>			
<i>Size</i>	<i>Moderate</i>			
<i>Pigmentation</i>	<i>Pigmentation (White-Yellow)</i>			
<i>Apperance</i>	<i>Dull</i>			
<i>Optical Property</i>	<i>Opaque</i>			
<i>Texture</i>	<i>Rough</i>			

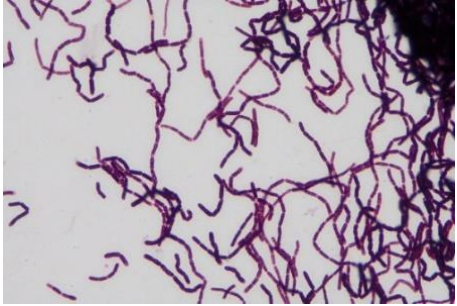
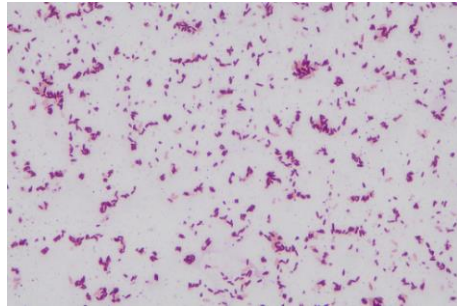
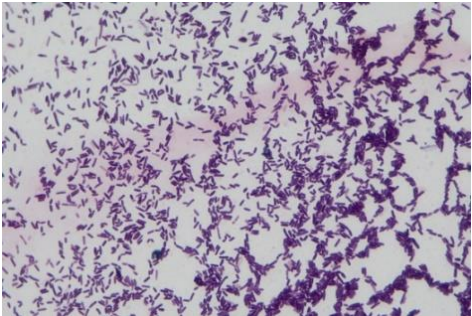
No	Sampel	Gambar	Morfology	
1	A		<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Convex</i>
			<i>Size</i>	<i>Moderate</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmented (white)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>
			<i>Optical property</i>	<i>Opaque</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
2	B		<i>Shape</i>	<i>Fillamentous</i>
			<i>Margin</i>	<i>Filamentaous</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Raised</i>
			<i>Size</i>	<i>Large</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmented (White)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Dull</i>
			<i>Optical property</i>	<i>Translucent</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>
3	C		<i>Shape</i>	<i>Circular</i>
			<i>Margin</i>	<i>Entire</i>
			<i>Elevation</i>	<i>Convex</i>
			<i>Size</i>	<i>Large</i>
			<i>Pigmentation</i>	<i>Non-Pigmented (Cream)</i>
			<i>Apperance</i>	<i>Glistening</i>
			<i>Optical property</i>	<i>Opaque</i>
			<i>Texture</i>	<i>Smooth</i>

Lampiran 3 Hasil Pewarnaan Gram Bakteri *Endogen*

No	Sampel	Sifat Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 100
1	1	Negatif	<i>Bacil</i>	
2	2	Negatif	<i>Bacil</i>	
3	3	Positif	<i>Bacil</i>	
4	4	Positif	Coccus	

No	Sampel	Sifat Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 100
				
5	5	Positif	<i>Bacil</i>	
6	6	Positif	<i>Bacil</i>	
7	7	Negatif	<i>Bacil</i>	

Lampiran 4 Hasil Pewarnaan Gram Bakteri *Endofit*

No	Sampel	Sifat Gram	Bentuk Sel	Perbesaran 100
1	A	Positif	Basillus	
2	B	Positif	Basillus	
3	C	Positif	Basillus	

Lampiran 5 Hasil Uji COD Minggu 1

No	Sampel Reaktor	Nilai Absorpsi	Nilai X C	Konsentrasi Cod	Fp	Rata - Rata
1	1	0,04	84,8	1697	20	1690,1
		0,041	84,2	1684	20	
2	2	0,071	118,5	2962,5	25	2837,5
		0,069	108,5	2712,5	25	
3	3	0,074	133,5	3337,5	25	3587,5
		0,078	153,5	3837,5	25	
4	4	0,077	148,5	3712,5	25	3712,5
		0,077	148,5	3712,5	25	
5	5	0,061	68,5	3425	50	2925
		0,057	48,5	2425	50	
6	6	0,048	3,5	175	50	175
		0,048	3,5	175	50	
7	7	0,053	28,5	1425	50	1300
		0,052	23,5	1175	50	
8	A	0,056	43,5	2175	50	2050
		0,055	38,5	1925	50	
9	B	0,072	123,5	3087,5	25	3150
		0,073	128,5	3212,5	25	
10	C	0,113	328,5	3285	10	3285
		0,113	328,5	3285	10	

Lampiran 6 Hasil Uji COD Minggu 2

No	Sample Reaktor	Nilai absorbansi	Nilai x c	Konsentrasi COD	Fp	Rata - rata
1	1	0,056	43,5	652,5	15	690
		0,057	48,5	727,5	15	
2	2	0,053	28,5	427,5	15	465
		0,054	33,5	502,5	15	
3	3	0,067	98,5	1477,5	15	990
		0,054	33,5	502,5	15	
4	4	0,058	53,5	802,5	15	690
		0,055	38,5	577,5	15	
5	5	0,052	23,5	352,5	15	465
		0,055	38,5	577,5	15	
6	6	0,03	91,4	1370,5	15	1370,5
		0,03	91,4	1370,5	15	
7	7	0,053	28,5	712,5	25	1087,5
		0,059	58,5	1462,5	25	
8	A	0,052	23,5	587,5	25	587,5
		0,052	23,5	587,5	25	
9	B	0,027	93,3	1399,9	15	1399,9
		0,027	93,3	1399,9	15	
10	C	0,163	578,5	5785	10	5785
		0,163	578,5	5785	10	

Lampiran 7 Hasil Uji Amonia Minggu 1

Sampel Reaktor	Nilai Adsorpsi	Pengenceran	Nilai X C	Konsentrasi amonia
1	0,071	1000	0,650	650,124
2	0,081	1000	0,774	774,194
3	0,104	1000	1,060	1059,553

Sampel Reaktor	Nilai Adsorbsi	Pengenceran	Nilai X C	Konsentrasi amonia
4	0,087	1000	0,849	848,635
5	0,127	1000	1,345	1344,913
6	0,091	1000	0,898	898,263
7	0,081	1000	0,774	774,194
A	0,087	1000	0,849	848,635
B	0,091	1000	0,898	898,263
C	0,18	1000	2,002	2002,481
CR	0,093	1000	0,923	923,077

Lampiran 8 Hasil Uji Amonia Minggu 2

Sampel Reaktor	Nilai Adsorbsi	Pengenceran	Nilai X C	Konsentrasi amonia
1	0,058	1000	0,489	488,834
2	0,066	1000	0,588	588,089
3	0,054	1000	0,439	439,206
4	0,065	1000	0,576	575,682
5	0,102	1000	1,035	1034,739
6	0,062	1000	0,538	538,462
7	0,084	1000	0,811	811,414
A	0,049	1000	0,377	377,171
B	0,052	1000	0,414	414,392
C	0,128	1000	1,357	1357,320
CR	0,065	1000	0,576	575,682

Lampiran 9 Hasil Uji Amonia Minggu 3

Sampel Reaktor	Nilai Adsorbsi	Pengenceran	Nilai X C	Konsentrasi amonia
1	0,051	1000	0,402	401,985
2	0,046	1000	0,340	339,950
3	0,039	1000	0,253	253,102
4	0,052	1000	0,414	414,392
5	0,051	1000	0,402	401,985
6	0,03	1000	0,141	141,439
7	0,063	1000	0,551	550,868
A	0,024	1000	0,067	66,998
B	0,032	1000	0,166	166,253
C	0,057	1000	0,476	476,427
CR	0,026	1000	0,092	91,811

Lampiran 10 Hasil Uji Warna Minggu 1

No	Sampel	Nilai ABS	Nilai x (c)	fp	Nilai Pt-Co	Rata Rata
1	1	0,004	13,100	50	655,000	655,000
		0,004	13,100		655,000	
		0,004	13,100		655,000	
2	2	0,001	3,100		155,000	543,889
		0,002	6,433		321,667	
		0,007	23,100		1155,000	
3	3	0,003	9,767		488,333	543,889
		0,003	9,767		488,333	
		0,004	13,100		655,000	
4	4	0,003	9,767		488,333	488,333
		0,003	9,767		488,333	
		0,003	9,767		488,333	
5	5	0,002	6,433		321,667	377,222
		0,002	6,433		321,667	
		0,003	9,767		488,333	
6	6	0,003	9,767		488,333	599,444
		0,003	9,767		488,333	
		0,005	16,433		821,667	
7	7	0,002	6,433		321,667	432,778
		0,003	9,767		488,333	
		0,003	9,767		488,333	
8	A	0,003	9,767		488,333	432,778
		0,003	9,767		488,333	
		0,002	6,433		321,667	
9	B	0,002	6,433		321,667	321,667
		0,002	6,433		321,667	
		0,002	6,433		321,667	
10	C	0,004	13,100		655,000	766,111
		0,005	16,433		821,667	
		0,005	16,433		821,667	

Lampiran 11 Hasil Uji Warna Warna Minggu 2

No	sampel	nilai ABS	Nilai x (c)	fp	Nilai Pt-Co	Rata Rata
1	1	0,013	43,100	25	1077,500	1021,944
		0,012	39,767		994,167	

No	sampel	nilai ABS	Nilai x (c)	fp	Nilai Pt-Co	Rata Rata
		0,012	39,767		994,167	
2	2	0,013	43,100		1077,500	1077,500
		0,013	43,100		1077,500	
		0,013	43,100		1077,500	
3	3	0,004	13,100		327,500	383,056
		0,005	16,433		410,833	
		0,005	16,433		410,833	
4	4	0,007	23,100		577,500	521,944
		0,006	19,767		494,167	
		0,006	19,767		494,167	
5	5	0,012	39,767		994,167	994,167
		0,013	43,100		1077,500	
		0,011	36,433		910,833	
6	6	0,005	16,433		410,833	410,833
		0,005	16,433		410,833	
		0,005	16,433		410,833	
7	7	0,013	43,100		1077,500	1021,944
		0,012	39,767		994,167	
		0,012	39,767		994,167	
8	A	0,011	36,433		910,833	1021,944
		0,011	36,433		910,833	
		0,015	49,767		1244,167	
9	B	0,004	13,100		327,500	383,056
		0,005	16,433		410,833	
		0,005	16,433		410,833	
10	C	0,009	29,767	744,167	855,278	
		0,01	33,100	827,500		
		0,012	39,767	994,167		

Lampiran 12 Hasil Uji Warna Minggu 3

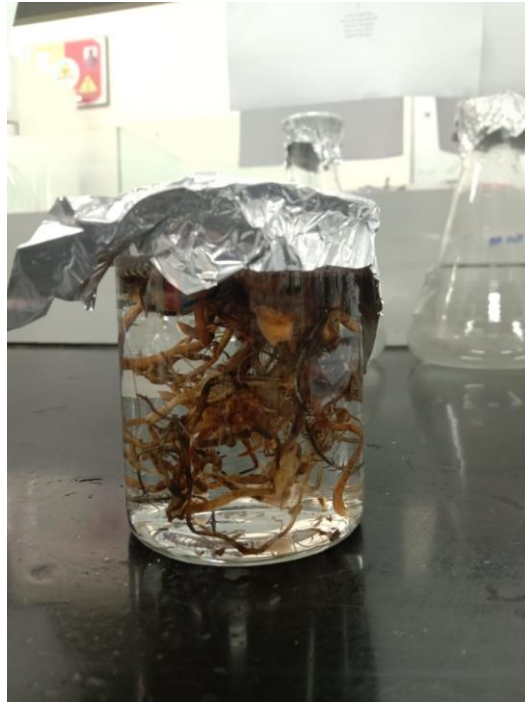
No	sampel	nilai ABS	Nilai x (c)	fp	Nilai Pt-Co	Rata Rata
1	1	0,011	36,433	25	910,833	883,056
		0,012	39,767		994,167	
		0,009	29,767		744,167	
2	2	0,007	23,100		577,500	577,500
		0,006	19,767		494,167	
		0,008	26,433		660,833	
3	3	0,004	13,100		327,500	327,500
		0,004	13,100		327,500	

No	sampel	nilai ABS	Nilai x (c)	fp	Nilai Pt-Co	Rata Rata
		0,004	13,100		327,500	
4	4	0,004	13,100		327,500	355,278
		0,004	13,100		327,500	
		0,005	16,433		410,833	
		0,006	19,767		494,167	
5	5	0,007	23,100		577,500	494,167
		0,005	16,433		410,833	
		0,003	9,767		244,167	
6	6	0,005	16,433		410,833	327,500
		0,004	13,100		327,500	
		0,005	16,433		410,833	
7	7	0,005	16,433		410,833	438,611
		0,006	19,767		494,167	
		0,005	16,433		410,833	
8	A	0,007	23,100		577,500	521,944
		0,006	19,767		494,167	
		0,006	19,767		494,167	
9	B	0,005	16,433		410,833	383,056
		0,005	16,433		410,833	
		0,004	13,100		327,500	
10	C	0,007	23,100		577,500	605,278
		0,008	26,433		660,833	
		0,007	23,100		577,500	

Lampiran 13 Proses Kultur Bakteri



Lampiran 14 Proses Pencucian Akar *Typha Lathifolia*



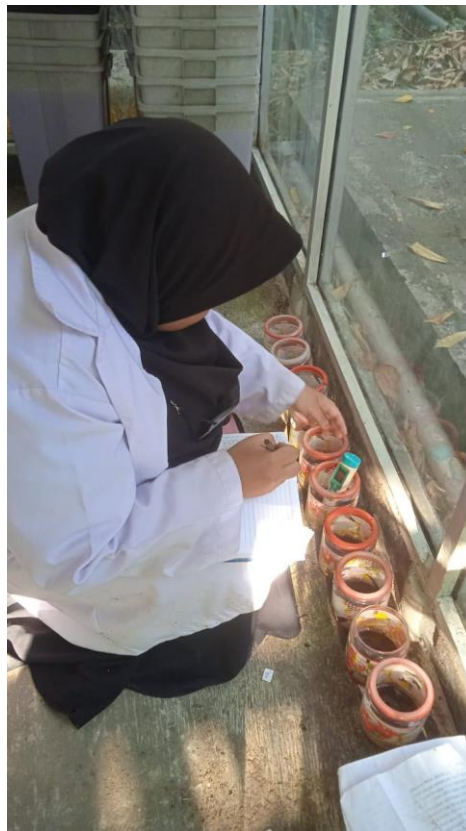
Lampiran 15 Kondisi Akar Tanaman Setelah Kontak dengan Air Lindi



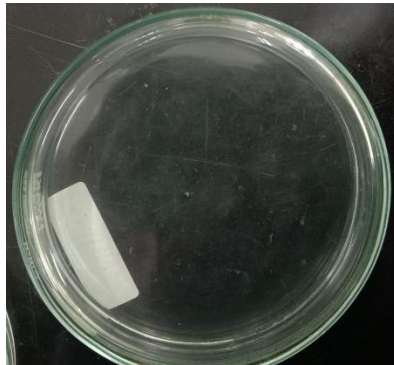
Lampiran 16 Kondisi Tanaman saat Aklimatisasi



Lampiran 17 Pengujian Fisik pada Reaktor



Lampiran 18 Hasil Inkubasi Air Cucian Akar



Lampiran 19 Hasil Inkubasi Bakteri *Endofit*



Lampiran 20 Hasil Inkubasi Bakteri *Endogen*



RIWAYAT HIDUP

Nama penulis pada penelitian tugas akhir ini adalah Fetria Hikmawati Susilo yang lahir pada 04 Februari 2001 di Gunungkidul, DI Yogyakarta. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Ayah penulis bernama Heri Susilo dan Ibu penulis bernama Sutarmi. Riwayat pendidikan yang dimiliki penulis yaitu TK Pancamarga, Semin, Gunungkidul pada tahun 2006, sekolah dasar di SD N 3 Rejosari pada tahun 2007-2013, kemudian sekolah menengah pertama di SMP N 1 Semin pada tahun 2013-2016, sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Wonosari 2016-2019, dan meneruskan perkuliahan di Universitas Islam Indonesia pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2019-2023.

Penulis memiliki kegiatan aktif di luar kegiatan akademik yaitu sempat mengikuti Lembaga Dakwah Fakultas periode 2021-2022 sebagai Kepala Departemen Kewirausahaan. Selain itu, penulis turut aktif dalam mengikuti kepanitiaan seperti Enviro Champion 2019, Lintas Lingkungan 2020 dan Envirolympics (EPIC) 2021.