TA/TL/2024/1806

TUGAS AKHIR

BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN BAKTERI *INDIGENOUS* TANAH TPA PIYUNGAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

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

DWITA SARI FATHINA
20513025

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR

BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN BAKTERI *INDIGENOUS* TANAH TPA PIYUNGAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

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

DWITA SARI FATHINA
20513025

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.	**Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.**
NIK. 155130505	**NIK. 165131306**
Tanggal: 16.06.2024	Tanggal: 16/8 24

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 16/8/24

HALAMAN PENGESAHAN

BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN BAKTERI *INDIGENOUS* TANAH TPA PIYUNGAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tangggal : 16 Agustus 2024

Disusun Oleh:

DWITA SARI FATHINA
20513025

Tim Penguji :

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. (16.06.2024)

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

Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. ( )

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Dwita Sari Fathina

NIM: 20513025

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas rahmat seta segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri *Indigenous* Tanah TPA Piyungan Pada Air Limbah Industri Tekstil" .

Tugas Akhir ini bertujuan memberikan pengetahuan dan wawasan kepada pembaca mengenai penggunaan mikroorganisme bakteri dari tanah TPA Piyungan sebagai agen bioremediasi pada air limbah di Industri Tekstil Troso di Jepara. Selain itu, tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dari Program Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini, saya sebagai penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung dan mendoakan saya dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan nikmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ayah dan ibu tercinta, orang tua yang sangat berjasa dalam hidup penulis. Terima kasih atas doa, cinta, dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis, serta tanpa lelah mendengar keluh kesal penulis hingga di titik ini. Semoga Allah SWT membrikan keberkahan di dunia maupun di akhirat, karena telah menjadi figur orangtua terbaik bagi penulis.
3. Kakak Salma dan Bang Aji, sebagai kakak dan abang yang telah membantu dan menemani penulis di segala keadaan. Terima kasih telah menjadi "*moodbooster*" bagi penulis.
4. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu membimbing, memberikan arahan, semangat kritik, saran, serta penilaian sejak penulisan proposal tugas akhir hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing, memberikan arahan, semangat, kritik, saran serta penilaian selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

7. Mbak Rina Isnikarita, S.Si. dan Mas Bagus Dwi Setyawan, A.Md.Si. selaku laboran yang telah membimbing dan memberikan arahan penulis selama melakukan penelitian.
8. Seluruh dosen, staff akademik, dan karyawan Program Studi Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan ilmu serta bantuannya selama masa perkuliahan.
9. Teman–teman 'Papeda' (Diva, Fayza, Tasya) yang selalu mendukung, membantu, dan menemani semasa perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini. Terimakasih telah menjadi tempat bertukar cerita, menemani makan, jalan-jalan dan selalu siap membantu dalam hal apapun.
10. Teman-teman "Rahasia Negara" (Hevi, Yaya, Jihan, Lola, Mimi, Chia, Inggrit, Sherly) yang selalu mendukung dan memberikan semangat tanpa henti sejak masa SMA hingga perkuliahan.
11. Tasya Amelia Mirtasari sebagai partner dalam tugas akhir yang selalu membantu dan membimbing selama pengerjaan tugas akhir berlangsung. Terima kasih karena selalu ada di saat kapanpun.
12. Mba Aning Sekar Wiguna meskipun tidak sedarah dan terhalang jarak jauh tetapi selalu menemani, membantu dan mendengarkan keluh kesah serta segala cerita setiap harinya sejak masa himpunan hingga sekarang. Terima atas dukungan dan kebersamaan yang telah dilalui dalam bertukar cerita di mana pun dan kapan pun.
13. Bang Usman sebagai abang tingkat maupun teman saat masa kepanitiaan, masa himpunan, dan hingga saat sekarang ini. Terima kasih telah membantu dan menemani selama masa perkuliahan.
14. Teman–teman Angkatan 2020 yang sudah membantu dalam masa perkuliahan berlangsung.
15. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, masukkan dan saran sangat diharapkan agar menjadikan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi pembacanya.

Yogyakarta, Juni 2024

Dwita Sari Fathina

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ABSTRAK

DWITA SARI FATHINA. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri *Indigenous* Tanah TPA Piyungan Pada Air Limbah Industri Tekstil. Dibimbing oleh Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., M.Agr., Ph.D. dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Salah satu industri rumahan terutama industri tesktil banyak ditemukan di provinsi Jawa Tengah khususnya Kabupaten Jepara. Banyaknya industri tekstil menghasilkan 10 hingga 15% air limbah dari proses pewarnaan dan pencucian. Kandungan limbah yang dihasilkan memiliki berbagai parameter seperti logam berat timbal (Pb), kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biochemical Oxyfen* Demand (BOD). Oleh karena itu, dibutuhkan pengolahan khusus dalam mengolah limbah tekstil menggunakan bakteri *indigenous* dalam mendegradasi parameter-parameter kualitas air limbah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil penurunan kandungan logam timbal (Pb), COD, dan BOD dalam air limbah sisa proses produksi tekstil setelah dilakukannya bioremediasi dan mengidentifikasi efektivitas bakteri *indigenous* dalam menurunkan kandungan logam timbal, COD, dan BOD dalam air limbah industri tekstil troso di Jepara. Metode penelitian yang digunakan untuk menguji kandungan logam timbal dalam air limbah adalah spektrofotometri serapan atom (AAS), untuk BOD menggunakan titrasi iodometri, untuk COD menggunakan spektrofotometri dengan refluks tertutup dan untuk mengetahui laju pertumbuhan bakteri digunakan metode *total plate count.* Analisis data statistic dilakukan dengan metode korelasi spearman. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan bakteri indigenous pada konsentrasi 1 (0,7%) mampu menurunkan kadar Pb sebesar 0,16 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 15,91%, kandungan COD sebesar 5437 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 83,97%, dan kandungan BOD sebesar 48 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 80%. Sedangkan pada konsentrasi 2 (1%) menurunkan kadar logam Pb sebesar 0,15 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 15,14%, kandungan COD sebesar 7537 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 77,78%, dan kandungan BOD sebesar 54 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 72%. Dari hasil yang didapatkan dapat disimpulkan, penggunaan bakteri indigenous mempunyai efektivitas dalam menurunkan kandungan logam timbal (Pb), kandungan BOD, dan COD dalam air limbah tekstil di Desa Troso, Kabupaten Jepara.

Kata kunci: Bakteri *Indigenous*, Bioremediasi, Limbah Tekstil, Logam Timbal (Pb)

ABSTRACT

DWITA SARI FATHINA. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri *Indigenous* Tanah TPA Piyungan Pada Air Limbah Industri Tekstil. *Supervised by* Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., M.Agr., Ph.D. *and* Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

One of the home industries, especially the textile industry, is found in Central Java province, especially Jepara Regency. The large number of textile industries produces 10 to 15% of wastewater from the coloring and washing process. The content of the waste produced has various parameters such as heavy metal lead (Pb), Chemical Oxygen Demand (COD) content, and Biochemical Oxyfen Demand (BOD). Therefore, special treatment is needed in treating textile waste using indigenous bacteria in degrading wastewater quality parameters. The purpose of this study was to analyze the results of the decrease in the content of lead metal (Pb), COD, and BOD in wastewater from the textile production process after bioremediation and identify the effectiveness of indigenous bacteria in reducing the content of lead metal, COD, and BOD in troso textile industry wastewater in Jepara. The research method used to test the content of lead metal in wastewater is atomic absorption spectrophotometry (AAS), for BOD using iodometric titration, for COD using spectrophotometry with closed reflux and to determine the growth rate of bacteria using the total plate count method. Statistical data analysis was carried out using the Spearman correlation method. The results showed that the use of indigenous bacteria at concentration 1 (0.7%) was able to reduce Pb levels by 0.16 mg/L with a removal efficiency of 15.91%, COD content by 5437 mg/L with a removal efficiency of 83.97%, and BOD content by 48 mg/L with a removal efficiency of 80%. While at concentration 2 (1%) reduced Pb metal levels by 0.15 mg/L with a removal efficiency of 15.14%, COD content by 7537 mg/L with a removal efficiency of 77.78%, and BOD content by 54 mg/L with a removal efficiency of 72%. From the results obtained, it can be concluded that the use of indigenous bacteria has effectiveness in reducing lead metal (Pb) content, BOD content, and COD in textile wastewater in Troso Village, Jepara Regency.

Keywords: Indigenous Bacteria, Bioremediation, Textile Waste, Lead Metal (Pb)

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.4.1 Bagi Mahasiswa 2
1.4.2 Bagi Pemerintah 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Air Limbah Cair 4
2.2 Logam timbal (Pb) 5
2.2.1 Definisi Logam Timbal (Pb) 5
2.2.2 Dampak Logam Timbal (Pb) 5
2.3 Bakteri *Indigenous* 6
2.4 Bioremediasi Logam 7
2.5 *Total Plate Count* 9
2.6 Pengujian Parameter 9
2.6.1 Derajat keasaman (pH) 10
2.6.2 Suhu 10
2.6.3 Chemical Oxygen Demand (COD) 11
2.6.4 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) 11
2.7 Studi Terdahulu 12
BAB III METODE PENELITIAN **16**
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 16
3.2 Variabel Penelitian 17
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 17
3.4 Tahapan Penelitian 19
3.5 Sampling Air 19
3.6 Prosedur Pengujian Air Limbah 20

3.6.1 Pengujian Kandungan Logam Timbal (Pb) dalam Air Limbah 21
3.6.2 Pengujian Parameter dan Analisa Data 22
3.6.2.1 Derajat Keasaman (pH) 22
3.6.2.2 Suhu 22
3.6.2.3 *Chemical Oxygen Demand* (COD) 23
3.6.2.4 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) 24
3.6.3 Parameter Pengujian Air Limbah 26
3.7 Prosedur Pengujian Pada Bakteri 27
3.7.1 Sterilisasi Alat 27
3.7.2 Kultur Bakteri pada Media Pertumbuhan 27
3.7.3 Persiapan Reaktor 29
3.7.4 *Running* Reaktor 29
3.7.5 Laju Pertumbuhan Bakteri dan Analisis Data 31
3.8 Analisis Data 33
3.8.1 Analisis Korelasi Spearman 33
BAB IV PEMBAHASAN 36
4.1 Karakterisasi Sampel Air Limbah 36
4.2 Analisis Logam Timbal (Pb) 37
4.2.1 Efisiensi Removal Logam Timbal (Pb) 41
4.3 Analisis kandungan *Chemical Oxygen Demands* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demands* (BOD) 43
4.3.1 Efisiensi Removal COD dan BOD 47
4.4 Analisis pH Setelah Bioremediasi 50
4.5 Analisa Suhu Setelah Bioremediasi 51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 54
5.1 Kesimpulan 54
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA 56
LAMPIRAN 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakterisasi sel bakteri A1 7
Tabel 2. 2 Studi Terdahulu 12
Tabel 3. 1 Titik Koordinat Pengambilan Sampel 16
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Penelitian 17
Tabel 3. 3 Prosedur Pengujian Air Limbah 20
Tabel 3. 4 Baku Mutu Air Limbah 27
Tabel 3. 5 Komposisi *Running Reaktor* Konsentrasi 1 (0,7%) 30
Tabel 3. 6 Komposisi *Running Reaktor* Konsentrasi 2 (1%) 30
Tabel 3. 7 Interpretasi Pada Nilai Koefisien Korelasi 34
Tabel 4. 1 Karakterisasi Sampel Air Limbah Tekstil 36
Tabel 4. 2 Korelasi antar TPC dan Logam Pb konsentrasi 1 (0,7%) 42
Tabel 4. 3 Korelasi antar TPC dan Logam Pb konsentrasi 2 (1%) 42
Tabel 4. 4 Korelasi antar TPC dan BOD Konsentrasi1 (0,7%) 48
Tabel 4. 5 Korelasi antar TPC dan COD konsentrasi 1 (0,7%) 48
Tabel 4. 6 Korelasi antar TPC dan BOD konsentrasi 2 (1%) 49
Tabel 4. 7 Korelasi antar TPC dan COD konsentrasi 2 (1%) 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bakteri *Indigenous* dari Tanah TPA Piyungan 7
Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah 16
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....19
Gambar 3. 3 Diagram alir tahapan Pengujian Logam.....21
Gambar 3. 4 Pengujian Sampel COD tinggi 23
Gambar 3. 5 Bagan alir Persiapan Contoh Uji BOD 24
Gambar 3. 6 Bagan alir Standarisasi Larutan 25
Gambar 3. 7 Bagan Alir Titrasi dengan Iodometri 25
Gambar 3. 8 Diagram alir Pembuatan Media *Nutrient Broth* (NB).....28
Gambar 3. 9 Diagram alir Kulturisasi Bakteri 29
Gambar 3. 10 Sketsa *Running Reaktor* 31
Gambar 3. 11 Bagan alir pembuatan media NA 32
Gambar 3. 12 Bagan alir Pengujian *Total Plate Count*.....32
Gambar 4. 1 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 1 (0,7%) terhadap logam Pb 37
Gambar 4. 2 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 2 (1%) terhadap logam Pb 39
Gambar 4. 3 Grafik Efisiensi Removal Logam Timbal (Pb) 41
Gambar 4.4 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 1 (0,7%) terhadap COD BOD.....43
Gambar 4. 5 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 2 (1%) terhadap COD BOD 45
Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Removal COD dan BOD 47
Gambar 4. 7 Grafik Uji pH Setelah Bioremediasi pada konsentrasi 1 (0,7%) dan konsentrasi 2 (1%) 50
Gambar 4. 8 Grafik Uji Suhu Setelah Bioremediasi pada konsentrasi 1 (0,7%) dan konsentrasi 2 (1%) 51

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang melaksanakan aktivitas pembangunan ekonomi untuk meringankan krisis perekonomian saat ini. Pertumbuhan ekonomi akan terus mengalami kemajuan apabila dilakukan dengan tujuan dan sasaran yang benar. Hal ini dilakukan pada sektor industrialisasi (Harahap et al. 2023). Industri tekstil merupakan pabrik pengolahan yang mengubah serat menjadi benang atau kain (Fauzi et al. 2019). Upaya untuk mendorong pengembangan industri tekstil berjalan dengan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dan lapangan kerja, terutama di industri rumahan. Salah satunya industri rumahan yang banyak terdapat di Pulau Jawa, khususnya di Provinsi Jawa Tengah adalah Kabupaten Jepara. Berdasarkan laju pertumbuhan Produk Pertanian Dalam Negeri Komersial (PDRB) di Kabupaten Jepara, industri pengolahan mencapai pertumbuhan tertinggi yaitu mencapai 7.618..418,79 atau setara dengan 3,75% (BPS, 2022).

Masyarakat Desa Troso mulai mengenal kain tenun yang berfokus pada jenis kain gedhong (Maulidiyah and Syafii 2023). Jumlah industri kain tenun troso terus meningkat di Jepara. Dengan banyaknya industri tenun tentunya menghasilkan 10-15% limbah dari proses pewarnaan (Nugraini, Syahra, and Nunuk Sulistyaningrum Suprapto 2023). Limbah yang dibuang langsung ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu akan menimbulkan dampak negatif yang memicu adanya perubahan aroma dan warna air, gangguan terhadap aktivitas biologis dalam air, pencemaran tanah dan air tanah, perubahan dalam fisik hewan dan juga manusia, serta potensi pencemaran lingkungan (Wayan Budiarsa Suyasa 2015).

Kandungan limbah yang dihasilkan memiliki berbagai parameter seperti logam berat timbal (Pb), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD) (Putri 2020). Kandungan limbah tersebut tidak dapat diolah dengan cara daur ulang tradisional, sehingga diperlukan pengolahan khusus dalam mengolah limbah tekstil. Pengolahan khusus yang dapat diterapkan dengan menggunakan bakteri *indigenous* (Ismail 2020). Bakteri indigenous dapat digunakan dalam bioremediasi untuk menguraikan polutan organik dan anorganik dari tanah dan air yang tercemar sehingga, mampu memetabolisme berbagai senyawa berbahaya, seperti hidrokarbon, logam berat, dan pestisida, mengubahnya menjadi bentuk yang kurang berbahaya (Atlas and Hazen 2011). Penelitian Sa'diyah, Suarsini, and Ibrohim (2016), mengevaluasi

efektivitas konsorsium bakteri indigenous yang terdiri dari *Bacillus alvei* dan *Bacillus pumilus* dalam mengurangi konsentrasi timbal (Pb) dalam limbah air dari industri tepung agar-agar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsorsium bakteri ini berhasil menurunkan konsentrasi Pb sebesar 93,58%, mengurangi kadar Pb menjadi 0,200 mg/L yang memenuhi standar mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013.

Dalam konteks penelitian sebelumnya, dilakukan analisis terhadap kemampuan bakteri lokal (*indigenous*) dari tanah TPA Piyungan untuk meremediasi logam timbal (Pb). Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan bakteri *indigenous* dalam upaya meremediasi logam timbal (Pb) yang terdapat dalam limbah industri tekstil. Harapannya, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi informasi yang bermanfaat dalam pemanfaatan bakteri untuk proses bioremediasi logam timbal (Pb).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1) Berapa hasil penurunan kandungan logam timbal (Pb), BOD, dan COD yang terkandung dalam air limbah sisa proses industri tekstil Troso setelah dilakukan bioremediasi?
2) Apakah bakteri *indigenous* dapat efektif menurunkan kandungan logam timbal (Pb), BOD, dan COD dalam proses bioremediasi yang terdapat dalam air limbah Industri tekstil Troso di Jepara?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1) Menganalisis hasil penurunan kandungan logam timbal (Pb), BOD dan COD pada air limbah sisa proses industri tekstil Troso.
2) Mengidentifikasi efektifitas bakteri *indigenous* dalam menurunkan kandungan logam timbal (Pb), BOD, dan COD dalam air limbah Industri tekstil Troso di Jepara.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1.4.1 Bagi Mahasiswa

1) Mahasiswa dapat mengembangkan kemampuan meneliti dalam bidang bioremediasi yang telah diajarkan selama kegiatan perkuliahan.

2) Memberikan pengalaman serta wawasan dalam melakukan penelitian terkait bioremediasi logam timbal (Pb).

1.4.2 Bagi Pemerintah

1) Memberikan informasi terkait bioremediasi logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *indigenous* dalam pengelolaan limbah industri tekstil.

2) Dapat memberikan solusi dalam upaya pengurangan kadar kandungan logam timbal (Pb) di badan air sekitar lokasi industri.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1) Lokasi pengambilan sampel di industri tekstil di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara.
2) Penelitian menggunakan isolat bakteri *indigenous* dari tanah TPA Piyungan.
3) Penelitian dilakukan pengujian kadar logam timbal (Pb) dalam air limbah industri tekstil Troso di Jepara.
4) Penelitian analisis kemampuan bakteri *indigenous* yang dapat menurunkan kadar logam timbal (Pb) akan dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Cair

Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah yang dihasilkan berdampak negatif terhadap lingkungan (Hidayat 2018). Limbah domestik dapat berupa air cucian (detergen), kantong plastik , kaleng-kaleng bekas. Pada limbah industri dapat berupa lumpur, air bekas pencucian, maupun gas-gas yang mengandung padatan (partikulat) seperti halnya limbah zat warna pada industri tekstil. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan (Sari 2016).

Berdasarkan uji karakteristik limbah cair tenun Troso yang dilakukan oleh Agus (2016), diperoleh hasil kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 520 mg/l, kromium total 0,003 mg/l, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* sebesar 1935 mg/l, *Chemical Oxygen Demand (COD)* sebesar 5593 mg/l, fenol sebesar 2,348 mg/l dan pH sebesar 8 (SIWI 2021). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Nuha *et al* tentang toksisitas letal akut limbah cair tenun Troso terhadap ikan mas diperoleh nillai LC_{50}-96 jam sebesar 2,3%. Hal ini mempengaruhi jumlah mortalitas ikan mas. Dan uji karakteristik limbah cair tenun Troso diperoleh bahwa paremeter TSS, BOD, COD, dan fenol melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan sehingga diperlukan adanya alternatif pengolahan air limbah tersebut (Mas et al. 2016) .

Penelitian selanjutnya yakni dilakukan oleh Samawaty (2004) menjelaskan bahwa 30 sampel dari sumur gali di desa Troso terdapat 26,67% sampel yang kandungan nitratnya melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan (Diah Febriana Samawaty 2004). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada hubungan yang signifikan antara jarak tempat pembuangan limbah tenun dengan kadar nitrat dan nitrit pada air sumur gali di desa Troso. Air sumur gali dengan kadar nitrit yang tinggi jika dikonsumsi maka akan berpengaruh pada kesehatan yaitu keracunan kronis yang dapat menyebabkan gangguan Gastro Intestinal, diare campur darah, koma, dan bila tidak ditolong akan menyebabkan kematian (Merangin 2018). Sesuai dengan Perda Provinsi Jateng No. 5 Tahun 2012 maka parameter TSS, BOD, COD, dan fenol telah melampaui ambang batas baku mutu yang dipersyaratkan, sehingga zat-zat yang terkandung dalam limbah tenun yang dibuang langsung ke sungai bersifat toksik terhadap biota air.

2.2 Logam timbal (Pb)

2.2.1 Definisi Logam Timbal (Pb)

Logam timbal (Pb) adalah jenis logam berat yang bersifat karsinogenik dan dapat mencemari berbagai elemen dalam lingkungan, termasuk air, tanah, udara, hewan, tumbuhan, dan manusia (Salindra, Ningrum, and Ariyanto 2022). Timbal sering disebut sebagai timah hitam berbentuk logam berwarna putih kebiruan dan bersinar seperti perak. Logam ini tergolong dalam Golongan IIB dalam tabel periodik, memiliki nomor atom 82, dan bobot atom sebesar 207,2. Dalam bentuk mineral, timbal umumnya ditemukan sebagai PbS dan PbSO4. Kandungan timbal dalam tanah bervariasi antara 2 hingga 200 ppm, dengan rata-rata sekitar 16 ppm. Salah satu unsur kimia yang bernama timbal (Pb) memiliki efek yang merugikan pada lingkungan ketika bereaksi dengan unsur-unsur lain di alam (Purnomo dan Rachmadiarti, 2018). Adanya penumpukan timbal (Pb) dalam tubuh dianggap dapat menimbulkan dampak negatif pada kesehatan tubuh (Ali *et al*., 2019).

2.2.2 Dampak Logam Timbal (Pb)

Bahan kimia yang mencemari air tanah sangat bervariasi, umumnya terdiri dari komponen anorganik seperti logam berat yang berpotensi berbahaya. Timbal (Pb) adalah salah satu logam berat yang paling umum ditemui dan dapat mencemari lingkungan. Logam berat memiliki dampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme di dalam perairan. Kehadiran logam berat dalam organisme bisa menunjukkan adanya sumber logam berat dari aktivitas alam atau manusia. Secara alami, kandungan logam berat dalam perairan cenderung rendah, namun aktivitas manusia seperti industri, domestik, dan pertanian dapat menyebabkan peningkatan kandungan logam berat yang mencemari perairan. Hal ini disebabkan oleh kesulitan logam berat untuk terurai baik secara fisik, kimia, maupun biologis (Suparyanto dan Rosad (2015 2020)

Timbal (Pb) dalam perairan dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Relatif, Timbal (Pb) dapat larut dalam air dengan pH kurang dari 5, di mana air yang bersentuhan dengan timah hitam dalam suatu periode waktu dapat mengandung lebih dari 1 µg Pb/l (Sukoasih and Widiyanto 2017). Namun, batas kandungan Timbal (Pb) dalam air minum ditetapkan sebesar 50 µg Pb/l. Kadar dan toksisitas Timbal (Pb) dalam perairan dipengaruhi oleh tingkat kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen (Suparyanto dan Rosad (2015 2020).

2.3 Bakteri *Indigenous*

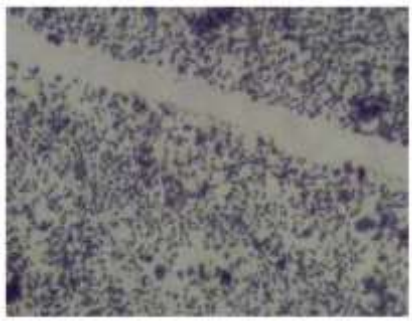
Bakteri *indigenous* merupakan bakteri yang secara alami mampu bertahan hidup di lingkungan tertentu sejak awal, seperti limbah dan substrat khusus. Bakteri tersebut mampu beradaptasi dan diharapkan dapat menguraikan senyawa organik serta pencemar yang ada dalam limbah pada kondisi yang sesuai (Martiningsih and Rahmi 2019). Mikroba asli yang ada dalam limbah umumnya berasal dari kelompok bakteri dan jamur. Selain itu, isolat bakteri *indigenous* yang berhasil diisolasi dari berbagai limbah menunjukkan keragaman biodiversitas bakteri asli di Indonesia dan potensi aktivitas bioremediasi yang dapat dikembangkan (Pratiwi and Asri 2022).

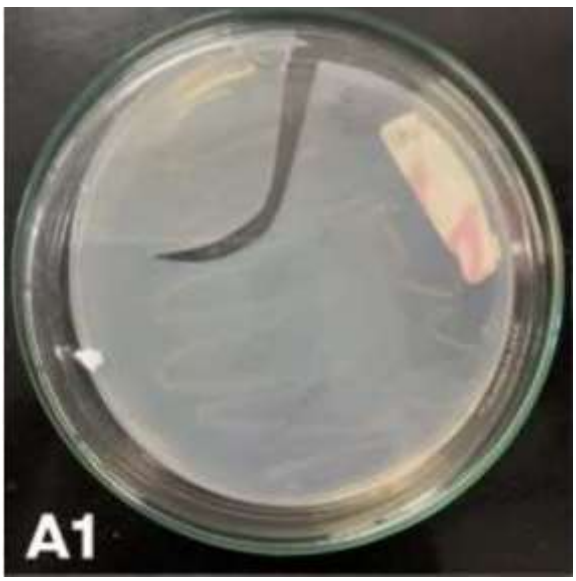
Bakteri memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi sehingga dapat tumbuh dalam substrat dan lingkungan yang tidak mendukung pertumbuhannya. Ini membuka peluang besar untuk menggunakan bakteri sebagai mikroorganisme dalam bioremediasi lingkungan yang tercemar (Medfu Tarekegn, Zewdu Salilih, and Ishetu 2020). Penggunaan bakteri *indigenous* untuk menguraikan limbah cenderung lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan bakteri eksogen. Kemampuannya dalam menguraikan limbah juga memiliki tingkat efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri dari luar (eksogen) (Rabbani, Audita, and Hamida 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Qothrunnada (2023), bakteri indigenous dengan kode A1 diisolasi dari tanah di TPA Piyungan, Yogyakarta. Tanah ini telah tertimbun sampah selama 1 hingga 3 tahun, dan bakteri A1 termasuk dalam jenis bakteri aerob. Bakteri aerob membutuhkan oksigen untuk menjalankan proses vital seperti pertumbuhan, respirasi, dan reproduksi. Karena oksigen sangat penting bagi kelangsungan hidup mereka, bakteri ini akan mati jika berada di lingkungan yang kekurangan oksigen. Dalam studi mikrobiologi, isolasi bakteri aerob relatif mudah karena mereka tumbuh dengan baik dalam medium cair. Bakteri aerob cenderung berkumpul di permukaan medium, di mana oksigen lebih mudah tersedia untuk diserap (Safitri 2019). Dalam konteks ini, bakteri A1 dikategorikan sebagai bakteri aerob karena sampel tanah diambil dari lapisan top soil yang berada pada kedalaman 0-30 cm. Top soil adalah lapisan tanah paling atas yang biasanya mengandung banyak materi organik, berwarna coklat gelap, subur, dan memiliki ketebalan hingga 25 cm, yang menyediakan kondisi yang baik untuk pertumbuhan bakteri aerob. Selanjutnya, tanah tersebut dijadikan sampel komposit, yang merupakan gabungan dari beberapa sub-tanah individu yang diambil dari titik sampling berbeda. Dalam proses penelitian, dilakukan karakterisasi morfologi

sel bakteri untuk mengidentifikasi jenis golongan bakteri. Berikut merupakan karakterisasi sel bakteri A1dapat dilihat pada **Tabel 2. 1**:

Tabel 2. 1 Karakterisasi sel bakteri A1

Bakteri	**Jenis Gram Bakteri**	**Bentuk Bakteri**	**Foto**
3.1 10^{-5} (orange)	Gram Positif	Coccus	



Gambar 2. 1 Bakteri *Indigenous* dari Tanah TPA Piyungan
Sumber : (Qothrunnada, 2023)

2.4 Bioremediasi Logam

Bioremediasi merupakan metode yang diterapkan untuk membersihkan lingkungan dari kontaminan (Ayangbenro and Babalola 2017). Teknik ini menggunakan mekanisme biologis yang ada pada mikroorganisme dan tumbuhan untuk menghilangkan polutan berbahaya dan memulihkan ekosistem ke keadaan aslinya. Prinsip utama bioremediasi meliputi pengurangan

kelarutan kontaminan dengan cara mengubah pH, reaksi redoks, serta mengadsorpsi kontaminan dari lingkungan yang tercemar (Ojuederie and Babalola 2017).

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas proses bioremediasi mencakup mikroba, nutrisi, dan kondisi lingkungan. Mikroba memiliki kemampuan untuk mendegradasi, mentransformasi, dan menyerap senyawa pencemar, dan dapat berasal dari kelompok fungi, bakteri, atau mikroalga (Saroj et al. 2022). Nutrisi juga memainkan peran penting, termasuk unsur karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), dan lain-lain, yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba. Kondisi lingkungan, seperti ketersediaan oksigen, suhu, kandungan oksigen terlarut (DO), dan pH, juga berpengaruh signifikan terhadap efektivitas bioremediasi (Qi et al. 2024).

Mikroorganisme memiliki kemampuan untuk menyerap atau mentransfer logam melalui reaksi enzimatik (Niland et al. 2020). Logam tersebut kemudian dapat dimanfaatkan dalam proses metabolisme di dalam sel atau diubah menjadi bentuk kimia lain yang tidak bersifat toksik di tanah, air, atau minyak. Menurut Abdelatey *et al*. (2011), konsentrasi logam yang terlalu tinggi dapat menimbulkan toksisitas pada mikroorganisme, mempengaruhi pertumbuhan, morfologi, aktivitas biokimia, penurunan biomassa, dan keanekaragaman populasi mikroorganisme (Newsome and Falagán 2021).

Bakteri indigen merupakan bakteri yang diisolasi dari limbah itu sendiri dan secara alamiah hidup pada limbah, sehingga memiliki potensi dalam proses bioremediasi (Ikerismawati 2019). Mekanisme resistensi bakteri terhadap logam berat melibatkan protein RND (*Resistence, Nodulation, Cell Division*) yang mengatur transportasi logam melalui membran sel (Ansori et al. 2022). Menurut Ahmad *et al*. (2005), menyatakan bahwa kemampuan bakteri dalam menghasilkan polisakarida ekstraselular dapat melindungi sel dari efek toksik logam berat. Bakteri yang resisten terhadap logam berat ditemukan di tanah dan lokasi tambang. Jika bakteri dapat beradaptasi pada lingkungan dengan tingkat kontaminasi logam berat yang tinggi, diasumsikan bahwa penggunaan bakteri tersebut sangat efektif dalam meningkatkan reduksi logam berat.

Metabolisme bakteri terkait erat dengan mekanisme toleransi atau resistensi terhadap logam berat Pb. Sebagian besar bakteri yang toleran terhadap logam berat melibatkan mekanisme efflux (T. H. T. Nguyen et al. 2023). Mekanisme toleransi atau resistensi lainnya termasuk kompleksasi, produksi polisakarida ekstraselular (EPS) sebagai bioakumulator, produksi metabolit organik yang berperan sebagai pengkelat logam, presipitasi, kristalisasi ekstraselular oleh bakteri pereduksi sulfat untuk membentuk deposit sulfida yang kaya logam, dan biokumulasi interseluler melalui pembentukan metallotionein (protein kaya sistein dalam sel

yang dapat mengikat logam) untuk detoksifikasi, penyimpanan, dan regulasi ion logam dalam sel (Fahruddin, Santosa, and . 2020).

Bakteri dapat dimanfaatkan dalam proses bioserbent atau pengikatan logam berat untuk mencegah pencemaran lingkungan. Pengikatan logam berat oleh bakteri melibatkan fase pengikatan dan transport aktif. Fase pengikatan tergantung pada metabolisme sel, dengan absorbsi melalui dinding sel atau permukaan eksternal, diikuti oleh transport aktif yang bergantung pada metabolisme sel (Aminah and Nur 2019). Selama proses metabolisme, logam berat dapat terakumulasi di membran sel (ekstraseluler) atau sitoplasma (intraseluler). Akumulasi ekstraseluler dapat terjadi karena pengikatan ion logam oleh polimer ekstraseluler atau polisakarida ekstraseluler yang dihasilkan oleh sel-sel mikroorganisme dan adanya kompleksitas antara ion logam yang bermuatan positif dengan sisi reaktif pada permukaan sel yang bermuatan negatif. Sementara akumulasi intraseluler terjadi melalui proses difusi tanpa memerlukan aktivitas mikroorganisme secara langsung, di mana gen-gen yang mengendalikan plasmid berperan dalam proses metabolisme tersebut (Niland et al. 2020).

2.5 *Total Plate Count*

Total Plate Count merupakan metode untuk menentukan jumlah koloni bakteri. Metode ini melibatkan penggunaan teknik pengenceran dan cawan tuang untuk menguji tingkat pencemaran dengan bakteri (Rizki, Fitriana, and Jumadewi 2022). Umumnya, *Total Plate Count* menggunakan media *Nutrient Agar* di mana hasilnya berupa angka koloni yang dapat diamati visual, seperti koloni per ml, per gram, atau koloni per 100ml (CFU). Proses ini dijalankan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan (Santi, 2017). *Nutrient Agar* berperan sebagai media penyubur dan sumber nutrisi bagi mikroba (Nengsih 2021). Metode ini penting untuk menilai tingkat kebersihan atau jumlah bakteri pada suatu objek, memberikan solusi untuk memahami sejauh mana kemungkinan adanya kontaminasi bakteri (Fajri et al. 2022).

2.6 Pengujian Parameter

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap dua parameter utama, yaitu parameter fisika dan parameter kimia. Salah satu parameter fisika yang diuji adalah suhu, sementara parameter kimia mencakup derajat keasaman (pH), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa limbah cair yang akan dibuang ke lingkungan tidak melampaui batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Khususnya, industri tekstil harus melakukan pemantauan atau monitoring sesuai

dengan Baku Mutu Limbah Cair Industri Tekstil yang diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Pemantauan ini penting guna menjaga kualitas lingkungan dan memastikan bahwa limbah yang dibuang memenuhi standar keamanan lingkungan yang telah ditetapkan oleh otoritas yang berwenang. Dengan menguji parameter fisika dan kimia, industri tekstil dapat memastikan kepatuhan terhadap regulasi dan kontribusi positif terhadap pelestarian lingkungan.

2.6.1 Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan standar untuk menilai tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat, larutan, atau benda, diukur dalam nilai numerik. pH normal adalah 7; nilai pH di atas 7 menunjukkan sifat basa, sedangkan nilai pH di bawah 7 menunjukkan sifat asam. pH 0 menandakan tingkat keasaman yang paling tinggi, sementara pH 14 menunjukkan tingkat kebasaan yang tertinggi. Pengukuran pH dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti pH meter atau indikator pH seperti kertas lakmus (Harvyandha, Kusumawardani, and Abdul 2019). Bakteri tumbuh subur dalam kisaran pH optimal yang kondusif untuk pertumbuhannya. Biasanya, bakteri mencapai pertumbuhan optimal di sekitar tingkat pH netral (sekitar 6,5-7,5). pH yang ekstrem, baik terlalu asam atau basa, dapat mengganggu enzim bakteri dan struktur sel, sehingga menghambat pertumbuhan atau menyebabkan kematian bakteri (Albina et al. n.d.).

Menurut Chen *et al*., (1997) menginvestigasi bagaimana pH mempengaruhi proses biosorpsi atau penyerapan logam berat seperti Pb pada mineral apatit. Pada kondisi pH rendah, logam berat cenderung berada dalam bentuk terlarut yang lebih mudah diakses oleh bakteri melalui mekanisme biosorpsi atau bioakumulasi. Bioakumulasi ini melibatkan penyerapan ion timbal dari lingkungan sekitar ke dalam sel bakteri, di mana ion timbal tersebut dapat diasingkan di dalam vakuola atau kompartemen seluler lainnya. Namun, terlalu rendahnya pH dapat menjadi toksik bagi bakteri, mengurangi efektivitas proses penyerapan logam berat dan bahkan mengancam kelangsungan hidup bakteri dalam aplikasi bioremediasi.

2.6.2 Suhu

Suhu atau temperatur merupakan ukuran sejauh mana air limbah menunjukkan tingkat panas atau dinginnya. Parameter ini memiliki relevansi yang sangat penting karena

berdampak pada reaksi kimia, kecepatan reaksi, kehidupan organisme di dalam air, serta penggunaan air untuk berbagai aktivitas sehari-hari. Kenaikan suhu sebanyak 10°C dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen hingga 10% dan menginduksi percepatan metabolisme hingga dua kali lipat (Indrayani, 2018).

2.6.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan kuantitas oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam satu liter sampel air, dengan bahan pengoksidanya bisa berupa K2Cr2O7 atau KMNO4. Angka COD berfungsi sebagai parameter yang menunjukkan tingkat kontaminasi air oleh senyawa-senyawa organik yang secara alami dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, yang pada akhirnya mengurangi konsentrasioksigen terlarut di dalam air (Montalvo 2015). Metode pengukuran COD mengasumsikan bahwa semua materi organik yang hadir dapat dioksidasi menjadi CO2 dan H2O dengan bantuan oksidator yang kuat dalam suasana asam. Akibatnya, peningkatan nilai COD mencerminkan peningkatan kemampuan untuk mengoksidasi bahan organik terlarut, yang dapat mengurangi ketersediaan oksigen terlarut bagi biota di lingkungan perairan (WARDANI 2018).

Menurut Temirbekova *et al*., (2023) menginvestigasi isolasi dan karakterisasi bakteri yang memiliki potensi elektroaktif tinggi dari air limbah. Hasil studi menunjukkan bahwa kadar COD dalam air limbah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan bakteri. Peningkatan nilai COD cenderung meningkatkan aktivitas mikroba, yang dapat mempercepat proses bioremediasi limbah. Namun, tingginya kadar COD juga dapat meningkatkan akumulasi logam berat dalam lingkungan air, yang memerlukan strategi yang tepat untuk mengurangi dampaknya pada ekosistem perairan.

2.6.4 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) didefinisikan sebagai jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan dalam proses penguraian mikroba bahan organik dalam air pada suhu tertentu (biasanya 20 ◦C) untuk periode tetap (biasanya lima hari), dan merupakan salah satu indikator penting untuk dievaluasi jumlah total polutan organik yang dapat terurai secara hayati di dalam air (Li and Zhang 2020). Semakin tinggi jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik dalam air, semakin besar angka BOD yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa kadar polutan dalam air juga semakin tinggi. Hal tersebut juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri aerobik (Kimia and

Rekayasa 2023). Biosorpsi aerobik melibatkan oksidasi materi organik secara biologis. Selama proses ini, mikroorganisme menyerap logam dari materi organik, menghasilkan biomassa mikroba, produk transformasi logam, CO2, dan H2O (Jouanneau et al. 2014).

2.7 Studi Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan hal yang perlu dilakukan guna data pendukung. Adapun, penelitian tersebut akan digunakan sebagai pembanding dalam hasil penelitian yang dilakukan saat ini dan penelitian sebelumnya. Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam **Tabel 2. 2**:

Tabel 2. 2 Studi Terdahulu

No	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Jenis Bakteri	Target Logam	Hasil Penelitian
1	(Basha and Rajaganesh 2014) "Microbial Bioremediation of Heavy Metals From Textile Industry Dye Effluents using Isolated Bacterial Strains"	*Escherichia coli, Salmonella typhi, Bacillus licheniformis* and *Pseudomonas fluorescen*	Logam Timbal (Pb)	Penurunan kadar Pb sebesar 94,83%.
2	(AJAO and AWE 2018) "Bioremediation of wastewaters from local textile industries"	*Bacillus licheniformis*	Logam Timbal (Pb)	Penurunan kadar Pb sebesar 80%.

No	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Jenis Bakteri	Target Logam	Hasil Penelitian
3	(Sa'diyah *et al*., 2016) "Effectiveness of *Indigenous* Lead (Pb) Reducing Bacteria Consortia of Waste Water Treatment in Agar Flour Industry"	Konsorsium *B. alvei* dan *B. pumilus*.	Logam Timbal (Pb)	Penurunan konsentrasi Pb Sebesar 7%, konsorsium bakteri menunjukkan potensi tertinggi mencapai 93,58%, yang berhasil mengurangi konsentrasi Pb menjadi 0,200 mg/L. Hal ini telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013.

Berdasarkan studi-studi terdahulu, diketahui bahwa berbagai spesies bakteri memiliki potensi untuk digunakan sebagai agen bioremediasi logam timbal (Pb) di lingkungan yang tercemar. Penelitian yang dilakukan oleh Basha dan Rajaganesh (2014) menunjukkan bahwa strain bakteri *Escherichia coli, Salmonella typhi, Bacillus licheniformis,* dan *Pseudomonas fluorescens* mampu menurunkan kadar Pb sebesar 94,83%. Penelitian oleh AJAO dan AWE (2018) menunjukkan bahwa *Bacillus licheniformis* dapat mengurangi kadar Pb sebesar 80%. Sedangkan penelitian Sa'diyah et al. (2016) menemukan bahwa konsorsium bakteri *B. alvei* dan *B. pumilus* dapat menurunkan konsentrasiPb sebesar 93,58%, mencapai standar mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013.

Dengan demikian, penelitian ini akan mengisi gap yang ada dengan fokus pada pengujian dan optimasi penggunaan bakteri *indigenous* dari tanah TPA Piyungan untuk bioremediasi logam timbal (Pb) di air limbah industri tekstil Troso di Jepara. Hal ini mencakup identifikasi spesies

bakteri yang efektif dari tanah TPA Piyungan, serta penentuan kondisi optimal untuk proses bioremediasi di lingkungan air limbah industri tekstil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

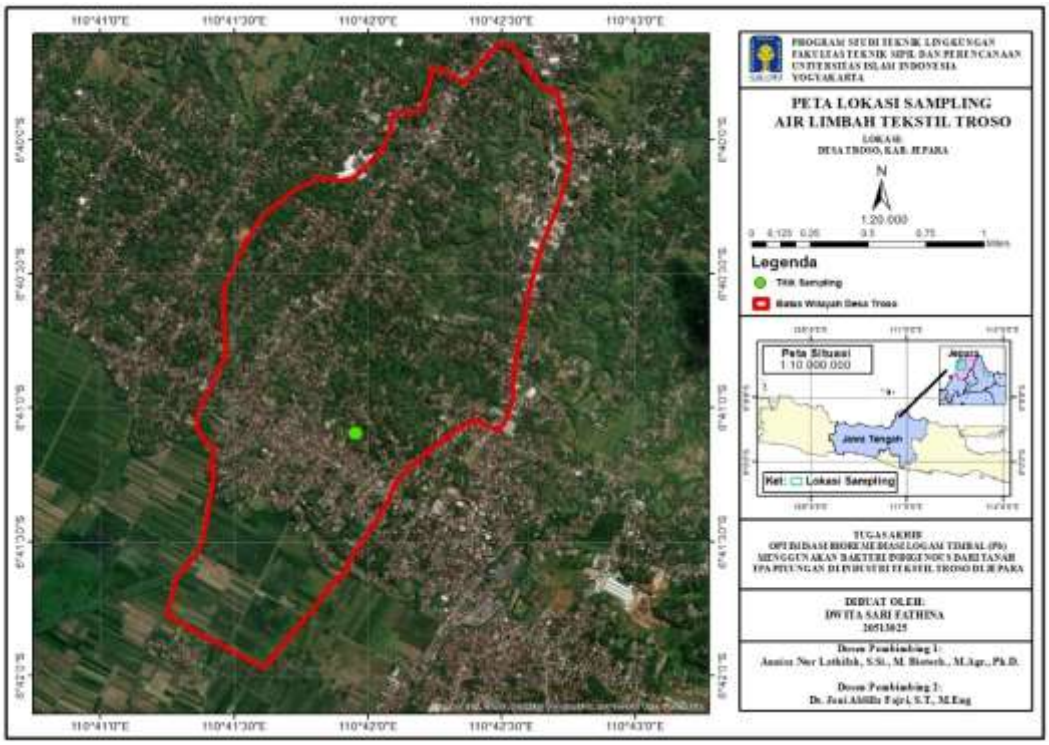
BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai Juni 2024 selama 4 bulan. Lokasi pengambilan sampel air yang akan diuji berada di Kota Jepara. Proses pengujian sampel air limbah tenun industri tekstil Desa Troso, Kabupaten Jepara akan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berikut merupakan lokasi pengambilan sampel air limbah yang berada di Desa Troso, Kabupaten Jepara. Dapat dilihat pada **Gambar 3. 1** :

Tabel 3. 1 Titik Koordinat Pengambilan Sampel

NO	TITIK SAMPLING	TITIK KOORDINAT
1	Titik Sampling	6°41'05.5"S 110°41'57.2"E



Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah

3.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Variabel bebas (*independet variable*) merupakan variabel yang menjadi penyebab adanya perubahan dalam variabel terikat. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah pengujian kandungan logam timbal (Pb), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand (COD)* dalam sampel air.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas melalui adanya perubahan yang akan diukur untuk menilai dampak dari suatu tindakan. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan bakteri *indigenous* yang berperan sebagai agen bioremediasi dalam mengatasi logam berat timbal, pH, dan suhu dalam sampel air industri tekstil.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan saat uji laboratorium yang dapat dilihat pada **Tabel 3. 2** :

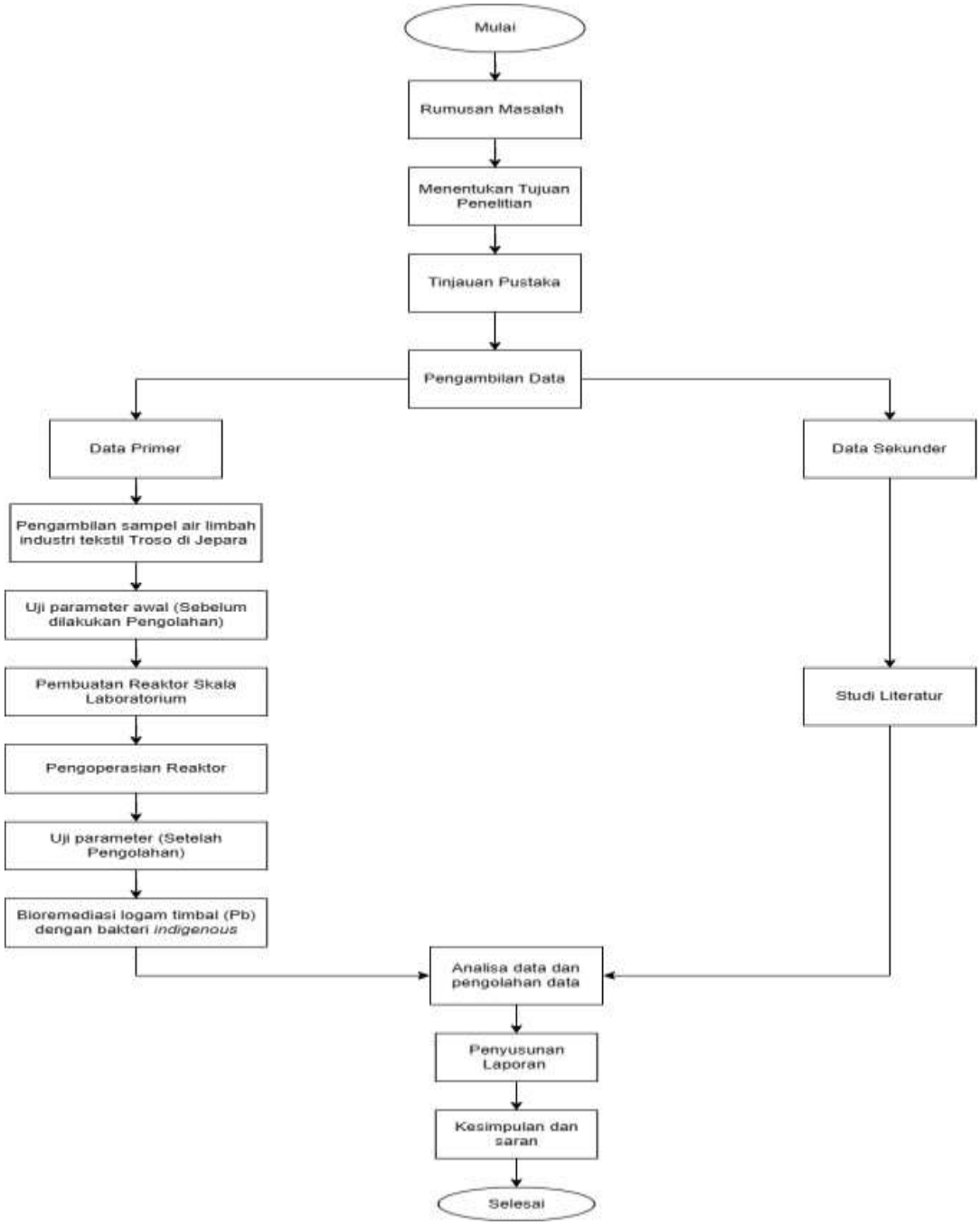
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat	Bahan
Erlenmeyer (100 mL dan 250 mL) *Beaker glass* (100 mL, 250 mL, 500 mL) Pipet Tetes *Spektrofotmeter Serapan Atom* (SSA) Inkubator pH Indikator Termometer Jarum Ose Corong *Colony Counter* Kaca Arloji Cawa Petri Karet Penghisap Toples Kaca (500 mL) Botol *Winkler*	isolat bakteri *indigenous*, *Nutrient Broth* (NB), *Nutrient Agar* (NA), sampel air dari industri tekstil troso di Jepara, larutan Natrium Thiosulfat, larutan alkali iodida azida, larutan mangan sulfat ($MnSO_4$), larutan indikator amilum (kanji), larutan kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$), larutan H_2SO4 pekat, larutan asam sulfat 20%, larutan pereaksi asam sulfat (H_2SO_4 dan Ag_2SO_4), larutan *nitrit acid* (HNO_3), *aquades* aerasi.

Alat	Bahan
Tabung Reaksi Tabung Refluks Botol vial Gelas ukur Labu Ukur (10 mL, 50 mL, 250 mL) Buret Statis Rak tabung reaksi Mikropipet Pipet tip 1 mL Pipet ukur (1 mL, 5 mL, 10 Ml) Jerigen Autoclave	

3.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir tahapan yang akan dilakukan antara lain sebagai berikut, dapat dilihat pada **Gambar 3. 2**



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.5 Sampling Air

Pengambilan sampel air limbah untuk penelitian ini dilakukan di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Desa Troso dikenal sebagai pusat industri

tenun, dengan banyak usaha kecil dan menengah yang terlibat dalam produksi kain tenun tradisional. Proses produksi melibatkan beberapa tahap, termasuk pencucian dan pewarnaan kain, yang menghasilkan air limbah dengan kandungan polutan yang beragam, termasuk logam berat seperti timbal (Pb).

Sampel air limbah yang digunakan diambil dari air limbah yang dihasilkan selama proses pencucian dan pewarnaan kain tenun. Proses pencucian menggunakan berbagai deterjen dan bahan kimia untuk membersihkan kain, sementara proses pewarnaan menggunakan pewarna tekstil yang seringkali mengandung logam berat. Untuk memastikan representativitas sampel, air limbah dikumpulkan dalam jerigen berkapasitas 10 liter. Pengambilan sampel dilakukan secara simplo, yang berarti satu kali pengambilan sampel tanpa pengulangan, di lokasi pembuangan air limbah dari proses produksi.

Setelah pengambilan, sampel air limbah disegel dengan baik dalam jerigen untuk mencegah kontaminasi selama transportasi ke laboratorium tempat analisis akan dilakukan. Di laboratorium, sampel akan dianalisis untuk menentukan kadar logam timbal (Pb) dan untuk menguji efektivitas bakteri *indigenous* dari tanah TPA Piyungan dalam proses bioremediasi.

3.6 Prosedur Pengujian Air Limbah

Pengujian air limbah melibatkan berbagai parameter kimia dan biologi untuk memastikan kualitas dan keamanannya sesuai dengan standar yang ditetapkan. Berikut prosedur pengujian yang digunakan untuk setiap parameter, unit yang digunakan, metode pengujian, serta referensi standar yang mendukung metode yang dapat dilihat pada **Tabel 3. 3** :

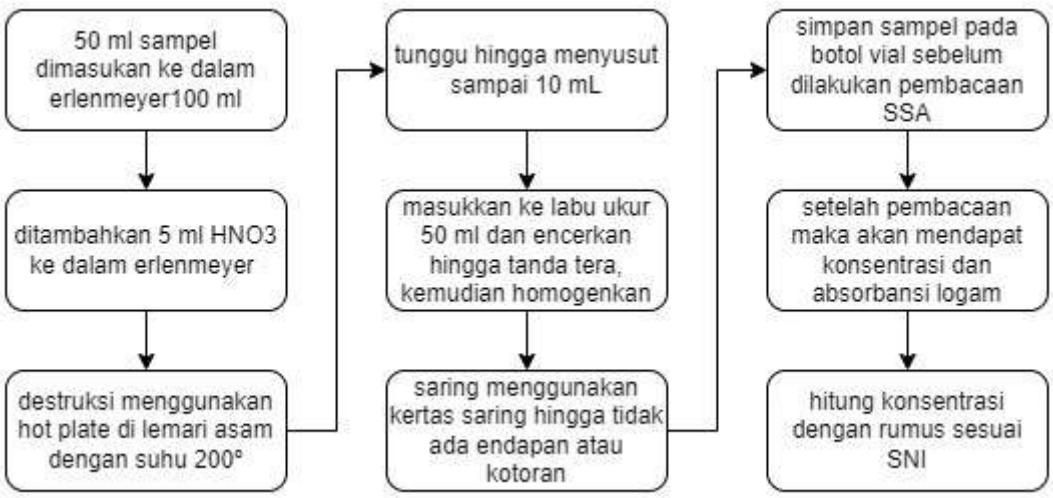
Tabel 3. 3 Prosedur Pengujian Air Limbah

Parameter	Unit	Metode	Referensi
Parameter Kimia			
Logam Timbal (Pb)	mg/l	*Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)	SNI 6989-84:2019
Chemical Oxygen Demands (COD)	mg/l	Refluks tertutup menggunakan spektrofotometri	SNI 6989.2:2019
Biochemical Oxygen Demands (BOD)	mg/l	Iodometri titrasi	SNI 6989.72:2009
pH	-	pH Universal	SNI 6989.11-2019
Parameter Fisika			
Suhu	^{o}C	Thermometer	SNI 06-6989.23-2005

Parameter	Unit	Metode	Referensi
Parameter Biologi			
Isolasi Bakteri		*Pour Plate*	
Pertumbuhan Bakteri	CFU/ml	*Total Plate Count* (TPC)	

3.6.1 Pengujian Kandungan Logam Timbal (Pb) dalam Air Limbah

Menurut SNI 6989-84:2019 tentang air dan air limbah—Bagian 84: Cara menguji kadar logam terlarut dan logam total menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala, dapat dilakukan uji kadar logam timbal (Pb) dalam air dan air limbah. Persiapan dan pengawetan contoh uji dilakukan dengan menggunakan media penyaring berukuran pori 0,45 μm. Untuk persiapan contoh uji, semua logam dan ekstrak TCLP (destruksi dengan HNO3) akan dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL. Selanjutnya, untuk membuat larutan kerja logam, deret larutan akan dibuat dengan minimal tiga kadar konsentrasi yang berbeda yang sesuai dengan rentang pengukuran yang diuji. Standar ini menetapkan metode untuk penentuan kadar logam total dan logam terlarut sesuai dengan contoh air yang diuji coba seperti air limbah dengan kisaran kadar optimum dan panjang gelombang berdasarkan parameter logam yang dianalisis. Air limbah yang mengandung parameter logam timbal (Pb) akan dilakukan *instrument detection level* sebesar 0,05 mg/L dengan kisaran kadar optimumnya yakni 1 – 20 mg/L. Untuk absorbansi larutan akan diukur panjang gelombang sekitar 283,3 nm.



Gambar 3. 3 Diagram alir tahapan Pengujian Logam

Metode perhitungan konsentrasi logam mengacu SNI 6989-84:2019 tentang cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

$$Pb\ (mg/L) = C\ \times Fp$$

Dimana :

C = konsentrasiyang didapatkan dari hasil pengukuran (mg/L)

Fp = faktor pengenceran

3.6.2 Pengujian Parameter dan Analisa Data

3.6.2.1 Derajat Keasaman (pH)

Pengujian pH dilakukan dengan metode elektrometri menggunakan pH meter sesuai pada SNI 6989.11:2019 tentang Air dan air limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter (Standar Nasional Indonesia 2004). Sebelum penggunaan, pH meter di-kalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan tiga larutan buffer yang memiliki pH 5, 7, dan 9. Setelah proses kalibrasi, elektroda dimasukkan ke dalam sampel limbah cair yang akan diukur. Ketika angka pada pH meter stabil, nilai pH langsung terbaca. Angka tersebut mencerminkan nilai pH yang diukur pada sampel limbah cair (Lestari et al. 2015). pH mempengaruhi enzim dan aktivitas metabolik bakteri, dengan rentang optimal untuk kebanyakan bakteri tanah berada di pH 6.5-7.5. Kondisi pH yang optimal membantu bakteri dalam mengubah timbal menjadi bentuk yang kurang larut atau mengikatnya dalam biomassa bakteri, sehingga mengurangi ketersediaan timbal dalam lingkungan (Kavamura and Esposito 2010)

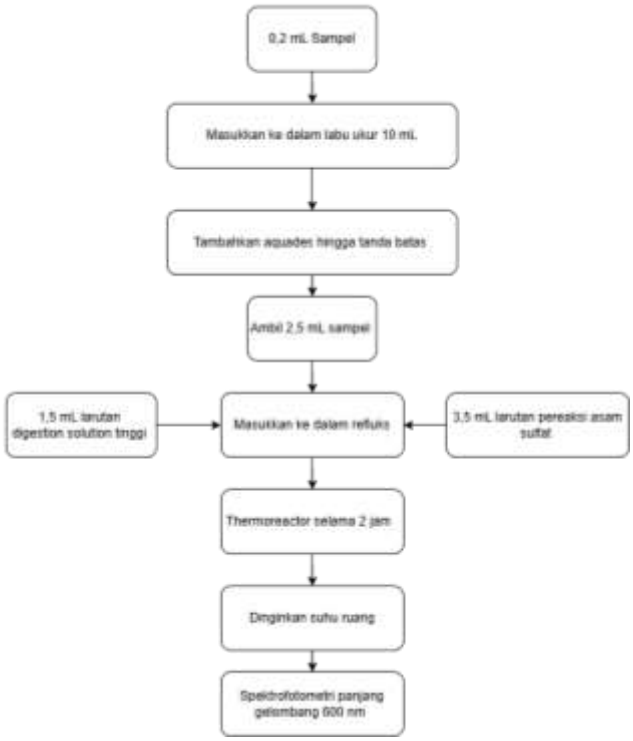
3.6.2.2 Suhu

Pengujian suhu dilakukan dengan menggunakan termometer air raksa untuk menetapkan suhu air dan air limbah sesuai SNI 06-6989.23-2005 (Haris 2008). Penggunaan air raksa yang terdapat dalam termometer akan mengalami kenaikan atau penyusutan mengikuti panasnya air dan air limbah yang di periksa, sehingga suhu air dan air limbah dapat dibaca pada skala termometer (°C). Langkah penggunaannya adalah dengan memasukkan termometer ke dalam air dan membiarkannya selama 2 hingga 5 menit, sehingga termometer mencapai nilai yang stabil. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa termometer mencapai kesetimbangan termal dengan air yang diukur. Proses ini memungkinkan alat untuk memberikan pembacaan yang akurat dan dapat diandalkan terkait suhu air yang sedang diamati. Suhu juga mempengaruhi

aktivitas enzim dan laju metabolisme bakteri, dengan kebanyakan bakteri tanah tumbuh optimal pada suhu mesofilik, yaitu sekitar 15-40°C. Suhu optimal meningkatkan laju metabolisme bakteri, termasuk aktivitas enzim yang berperan dalam bioremediasi logam berat, sehingga bakteri dapat lebih efisien dalam melakukan proses bioakumulasi atau biotransformasi logam timbal (Singh et al. 2019).

3.6.2.3 *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengujian parameter COD akan dilakukan dengan menerapkan metode refluks tertutup menggunakan spektrofotometri, sesuai dengan SNI 6989.2:2019 (Badan Standardisasi Nasional 2019). Prinsip dari metode ini melibatkan campuran senyawa organik dan anorganik. Alat yang digunakan termasuk refluks sebagai wadah untuk sampel uji dan reaksi kimia yang terjadi pada sampel, serta penggunaan asam pekat dan titrasi. Berikut merupakan diagram alir tahapan pengujian sampel COD tinggi dapat dilihat pada **Gambar 3. 4** :



Gambar 3. 4 Pengujian Sampel COD tinggi

Metode perhitungan *Chemical Oxygen Demand (COD)* sesuai dengan SNI 6989.2:2019 tentang Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (*chemical oxygen demand*/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Berikut adalah rumus untuk menghitung COD :

$$\text{Kadar COD (mg } O_2 \text{ /l)} = C \times f$$

Keterangan :

C : Nilai COD contoh uji (mg/l)

f : faktor pengenceran

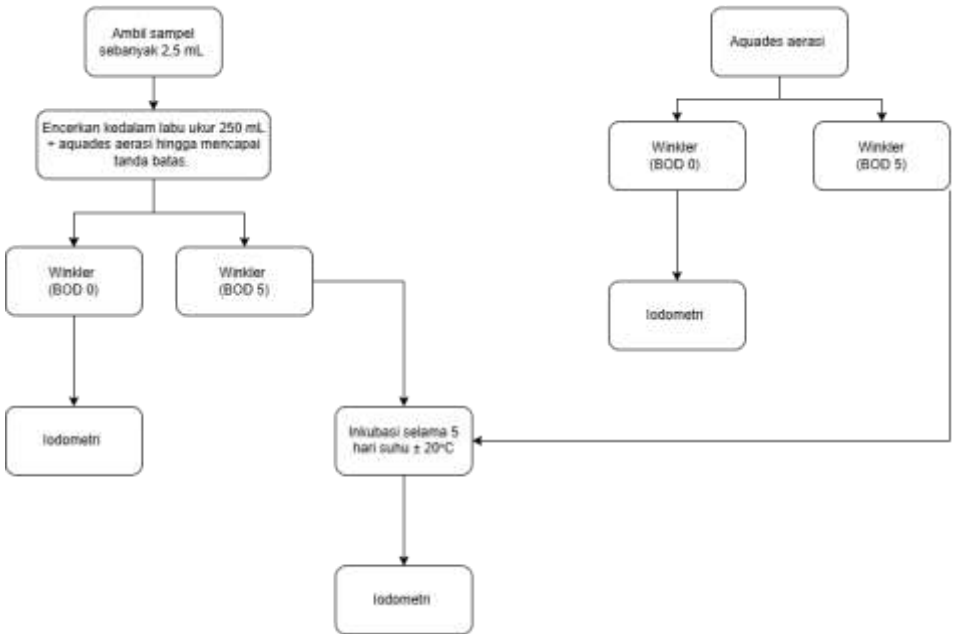
Pada pengujian parameter COD dilakukan dengan menganalisis data menggunakan metode persentase removal dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%\, removal = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100$$

3.6.2.4 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

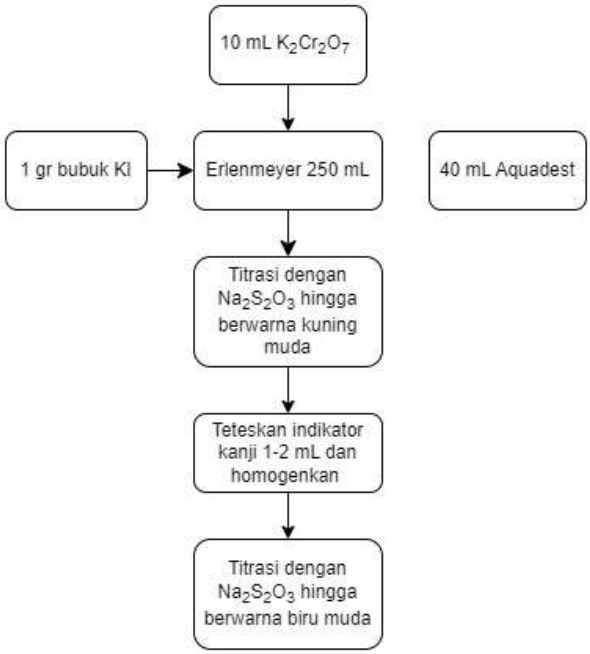
Metode pengujian ini dilakukan setelah menghilangkan atau meminimalkan kandungan zat toksik dan zat pengganggu lainnya, sesuai dengan standar SNI 6989.72:2009 tentang Air dan air limbah – Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand* (BOD)). Prinsip dari metode ini melibatkan penambahan sejumlah air limbah ke dalam larutan pengencer yang jenuh oksigen, yang juga telah ditambahkan dengan larutan nutrisi dan bibit mikroba. Campuran ini kemudian diinkubasi dalam kondisi gelap pada suhu 20±1°C selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasioksigen terlarut antara awal (hari ke-0) dan akhir (hari ke-5) inkubasi (Badan Standardisasi Nasional 2009). Berikut merupakan diagram alir tahapan yang dilakukan pada saat persiapan contoh uji dapat dilihat pada **Gambar 3. 5**

a) Persiapan contoh uji



Gambar 3. 5 Bagan alir Persiapan Contoh Uji BOD

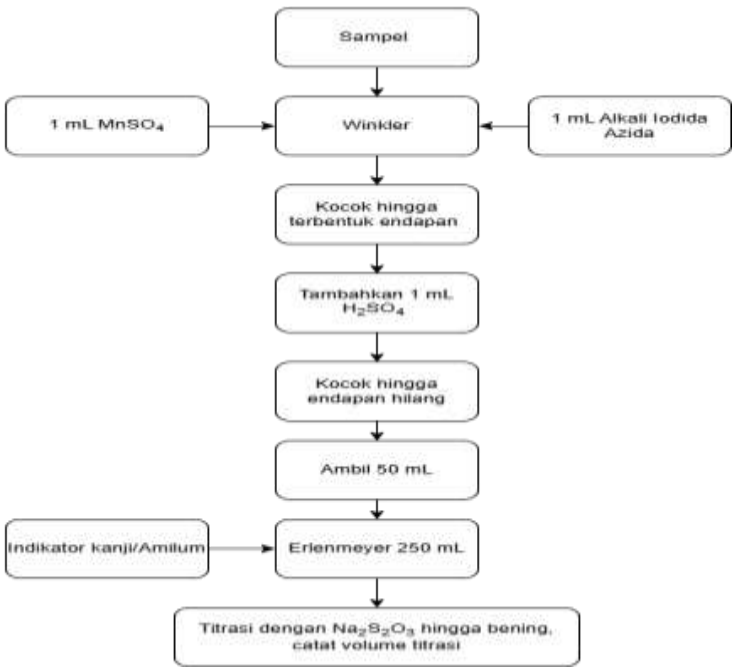
b) Standarisasi Larutan Thiosulfat



Gambar 3. 6 Bagan alir Standarisasi Larutan

c) Titrasi dengan Iodometri

Berikut merupakan diagram alir tahapan titrasi dengan iodometri dapat dilihat pada **Gambar 3. 7**



Gambar 3. 7 Bagan Alir Titrasi dengan Iodometri

Metode pengujian *Biochemical Oxygen Demand* mengacu pada SNI 06-6989.14 2004 tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Iodometri (modifikasi azida) (Indonesia and Nasional 2004) dan SNI 6989.72-2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD) (Badan Standardisasi Nasional 2009). Berikut rumus perhitungan :

a) Perhitungan *Dissolved Oxygen* (DO)

$$Nilai\ DO = \frac{V \times N \times 8000 \times F}{50}$$

Keterangan :

V : mL $Na_2S_2O_3$

N : normalitas $Na_2S_2O_3$

F : faktor (volume botol dibagi volume botol dikurangi volume $MnSO_4$ dan alkali iodida azida)

b) Perhitungan *BioChemical Oxygen Demand* (BOD)

$$Nilai\ BOD = \left((BO_0 - BO_5) - (DO_0 - DO_5)\right) \times P$$

Keterangan :

BOD : Nilai *Biochemical Oxygen Demand*

DO_0 : *Dissolved Oxygen* sampel hari ke 0 (mg DO/l)

DO_5 : *Dissolved Oxygen* sampel hari ke 5 (mg DO/l)

BO_0 : *Dissolved Oxygen* aquades hari ke 0 (mg DO/l)

BO_5 : *Dissolved Oxygen* aquades hari ke 5 (mg DO/l)

P : Faktor pengenceran (x 100)

3.6.3 Parameter Pengujian Air Limbah

Air limbah yang akan dianalisis berasal dari Desa Troso, Kabupaten Jepara, yang diambil dari saluran pembuangan. Air limbah berasal dari proses pencucian kain yang sudah mengalami pewarnaan. Selama pengujian, akan diidentifikasi parameter-parameter uji air limbah tekstil yang diperlukan dalam laboratorium. Sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, berikut adalah standar baku mutu yang dijadikan acuan pada **Tabel 3. 4**:

Tabel 3. 4 Baku Mutu Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	pH	-	6-9
2	BOD	mg/L	60
3	COD	mg/L	150
4	Timbal (Pb)	mg/L	1
5	Suhu	℃	<40

3.7 Prosedur Pengujian Pada Bakteri

3.7.1 Sterilisasi Alat

Metode sterilisasi basah dilakukan dengan menggunakan autoklaf yang beroperasi dengan uap air di bawah tekanan, seperti yang dijelaskan oleh Misra dan Misra (2012). Metode ini umumnya digunakan untuk mengsterilkan media, cairan, dan peralatan laboratorium. Menurut Bhojwani dan Dantu (2013), peralatan laboratorium yang dapat disterilisasi menggunakan metode ini meliputi:

1. Peralatan yang terbuat dari plastik berkualitas tinggi seperti *polyallomer*, *polypropylene*, *polytetrafluoroethylene* (PTFE), *Tefzel*, Teflon FEP dan *polymethylpentene*.
2. Peralatan yang terbuat dari kaca seperti gelas beaker botol kultur, dan pipet.

Suhu dan tekanan standar yang diperlukan dalam proses sterilisasi menggunakan autoklaf lebih disukai dilakukan pada suhu tinggi dikarenakan hanya memakan jangka waktu yang singkat daripada suhu yang lebih rendah untuk jangka waktu yang lebih lama. Umumnya, suhu dan tekanan yang digunakan adalah 121°C/15 psi, sesuai dengan penelitian oleh Gupta dan Shukshith (2016). Pengaturan waktu yang umumnya digunakan dalam metode sterilisasi basah ini adalah antara 10 hingga 15 menit. Kondisi ini terbukti sangat efektif dalam membunuh bakteri dan spora jamur, sebagaimana disebutkan oleh Ikenganyia dkk. (2017). Perlu diperhatikan bahwa waktu sterilisasi dihitung setelah autoklaf mencapai kondisi normal, yaitu pada suhu 121°C dan tekanan 15 psi, bukan pada saat tombol "*on*" ditekan, sebagaimana dijelaskan oleh Gupta dan K.S. (2016).

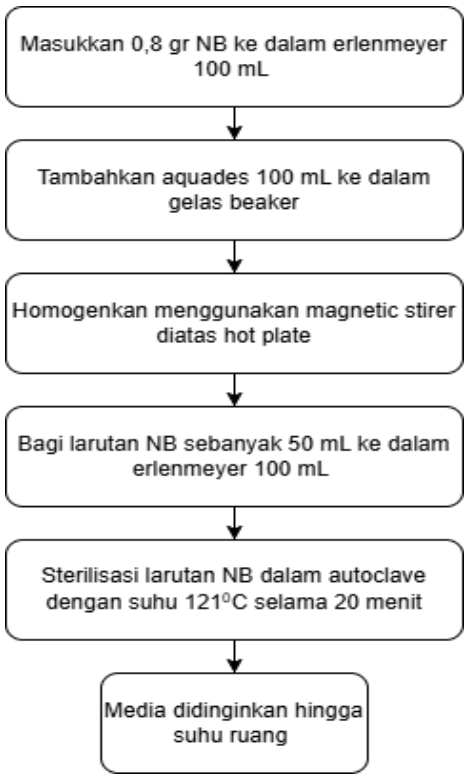
3.7.2 Kultur Bakteri pada Media Pertumbuhan

Media cair dibuat dengan tujuan sebagai media kultur bakteri sebelum bakteri diisolasi DNAnya. Pertama, media *Nutrient Broth* ditimbang sebanyak 0,8 gr dan larutkan dalam gelas

beaker dengan menambahkan 100 mL aquades, kemudian dipanaskan di *hot plate* menggunakan *magnetic stirer* hingga homogen. Setelah itu, disterilisasi dalam autoclave dengan suhu 121℃ selama 20 menit. Media didinginkan hingga suhu hangat (Novianty et al. 2020).

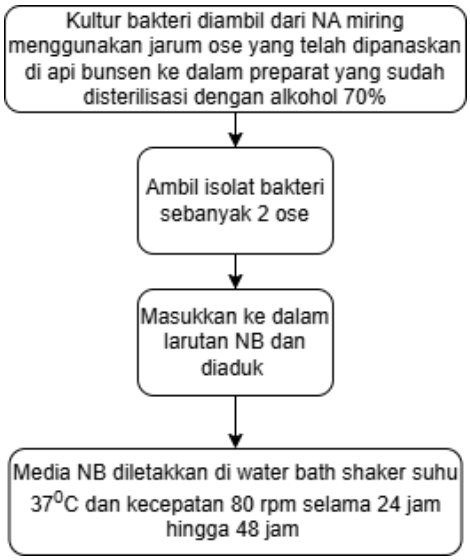
Kultur bakteri dilakukan dengan cara mencampurkan isolat bakteri dalam media *Nutrient Broth* (NB). Tahapan pengerjaan ini dilaksanakan di dalam ruangan *Laminar Air Flow* (LAF) untuk memastikan kondisi tetap steril. Isolat bakteri tanah TPA Piyungan diambil dengan jarum ose sebanyak 2 ose dari media *Dilute Nutrient Broth* (DNB) + 3% *bacterialogical agar* sebelumnya. Selanjutnya, isolat bakteri tersebut dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisikan media NB dan diaduk. Media kultur yang telah berisi bakteri ditempatkan diatas *water bath shaker* dengan suhu 37 °C dan kecepatan 80 rpm selama 24 jam hingga 48 jam (Taufan, Feliatra, and Effendi 2022). Berikut merupakan diagram alir tahapan pembuatan media dan kultur bakteri pada **Gambar 3. 8** dan **Gambar 3. 9**

a) Pembuatan Media *Nutrient Broth* (NB)



Gambar 3. 8 Diagram alir Pembuatan Media *Nutrient Broth* (NB)

b) Kulturisasi Bakteri



Gambar 3. 9 Diagram alir Kulturisasi Bakteri

3.7.3 Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah toples kaca berukuran 500 mL. Toples kaca sebelumnya dicuci terlebih dahulu, kemudian diisikan air limbah sebanyak 250 mL. Reaktor tersebut disterilisasikan ke dalam autoclave limbah selama 1 jam. Hal ini dilakukan agar memastikan toples steril sebelum digunakan mencegah adanya kontaminasi mikroorganisme dari lingkungan sekitar dan menghilangkan residu dari sisa-sisa bahan kimia yang terdapat pada permukaan toples (Shareef, Hamasaeed, and Ismaeil 2019).

Reaktor ini merupakan reaktor aerobik terbuka dengan metode pengolahan air limbah yang mengandalkan proses biologis untuk mengurangi zat-zat organik yang terkandung di dalam air limbah. Penambahan bakteri *indigenous* dalam reaktor dapat menguraikan bahan organik sehingga sangat efisiensi mengurangi kadar BOD dan kadar COD dalam air limbah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lan *et al*., (2022) menjelaskan bahwa reaktor aerobik terbuka digunakan untuk mengolah air limbah domestik yang menunjukkan bahwa penggunaan reaktor aerobik terbuka dapat mengurangi konsentrasi BOD dan COD lebih dari 85% dalam waktu tinggal hidraulik (HRT) selama 24 jam.

3.7.4 *Running* Reaktor

Reaktor air limbah akan beroperasi selama 4 minggu, yaitu dari 25 April 2024 hingga 25 Juni 2024. Untuk menjaga air limbah tidak terkontaminasi, reaktor ditempatkan di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan selama pengoperasiannya. Menurut penelitian sebelumnya oleh

Qothrunnada (2023), bakteri yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tanah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan, Yogyakarta. Bakteri ini dipilih setelah melalui proses isolasi, identifikasi koloni bakteri, analisis morfologi sel bakteri, dan seleksi bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan bakteri *indigenous* dalam reaktor dengan menggunakan variasi konsentrasibakteri yang berbeda. Dua variasi konsentrasiyang digunakan adalah konsentrasi 1 (0,7%) sebanyak 1,75 mL dan konsentrasi 2 (1%) % sebanyak 2,5 mL. Uji coba ini dilakukan untuk mengamati perbedaan efektivitas antara kedua konsentrasitersebut dalam pengolahan limbah, yang diukur melalui beberapa parameter, yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* dan kadar logam timbal (Pb).

Setiap reaktor akan ditambahkan air limbah sebanyak 250 mL. Sampel akan diuji selama 14 hari, dengan pengamatan hari ke-0, ke-4, ke-7 dan hari ke-14. Sampel yang digunakan akan dibedakan berdasarkan konsentrasibakteri *indigenous* yakni pada konsentrasi1 (0,7%) (0,7% sebanyak 1,75 mL) dan konsentrasi2 (1%) (1% sebanyak 2,5 mL yang dimasukkan ke dalam reaktor air limbah). Sampel uji akan diuji ulang sebanyak tiga kali (3x) untuk memastikan keandalan dan konsistensi hasil pengujian.

Menurut Y. T. Nguyen *et al*., (2017) dijelaskan bahwa penelitian dengan konsorium bakteri *indigenous* volume 1,7 mL dan 2,5 mL bakteri digunakan untuk mengolah air limbah. Hasilnya menunjukkan penurunan konsentrasi logam berat seperti timbal, di samping penurunan yang signifikan pada tingkat BOD dan COD. Berikut merupakan komposisi di setiap reaktor **Tabel 3. 5** dan **Tabel 3. 6** :

Tabel 3. 5 Komposisi *Running Reaktor* Konsentrasi 1 (0,7%)

Nama Reaktor	**Komposisi Reaktor Konsentrasi1 (0,7%)**
Kontrol K1	Air limbah tekstil
R1 – K1	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 0,7%
R2 – K1	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 0,7%
R3 – K1	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 0,7%

Tabel 3. 6 Komposisi *Running Reaktor* Konsentrasi 2 (1%)

Nama Reaktor	**Komposisi Reaktor Konsentrasi2 (1%)**
Kontrol K2	Air limbah tekstil
R1 – K2	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 1%
R2 – K2	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 1%

Nama Reaktor	Komposisi Reaktor Konsentrasi2 (1%)
R3 – K2	Air Limbah tesktil + Bakteri *indigenous* 1%



Gambar 3. 10 Sketsa *Running Reaktor*

3.7.5 Laju Pertumbuhan Bakteri dan Analisis Data

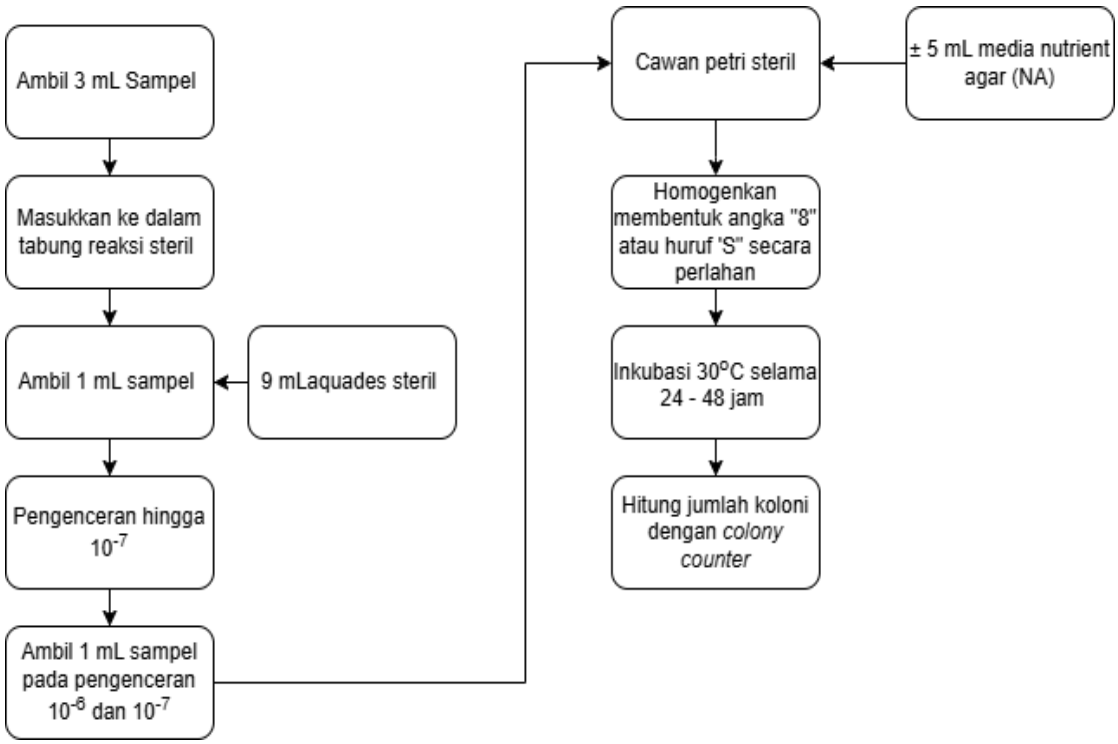
Pengujian pertumbuhan bakteri dilakukan sebelum dan sesudah menjalankan reaktor untuk mengetahui jumlah bakteri yang diinokulasi ke dalam reaktor. Pengukuran pertumbuhan bakteri dilakukan dengan menghitung jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada media agar, yang menunjukkan jumlah mikroba dalam suatu produk (Yunita et al. 2015). Pengujian *Total Plate Count* (TPC) awal dilakukan untuk menentukan jumlah bakteri pada hari ke-0, hari ke-4 dan hari ke-7 dengan sampel yang diambil dari hasil kultur bakteri. Langkah pertama dalam pengujian pertumbuhan koloni bakteri (TPC) pada hari ke-0 adalah melakukan pengenceran bertingkat dari 10^{-1} hingga 10^{-7}. Sebanyak 3 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi kosong yang telah di sterilisasi. Lalu, ambil 1 mL sampel dengan mikro pipet dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL aquades steril. Tabung reaksi pertama merupakan pengenceran 10^{-1}. Selanjutnya, dari pengenceran pertama diambil 1 mL dan dimasukkan ke tabung reaksi kedua yang berisi 9 mL aquades steril untuk pengenceran 10^{-2}. Pengenceran ini dilanjutkan hingga mencapai 10^{-7}. Dari hasil pengenceran terakhir, yaitu 10^{-6} dan 10^{-7} , diambil 1 mL sampel dan dimasukkan ke dalam cawan petri steril. Kemudian, media *Nutrient Agar* (NA) dituangkan ke dalam cawan petri menggunakan metode tuang (*pour plate*). Campuran dalam cawan petri dihomogenkan dengan membentuk angka “8” atau huruf “S” dengan perlahan hingga media dan sampel tersebar merata. Setelah media membeku, cawan petri siap untuk tahap berikutnya (Fajri et al. 2022). Berikut merupakan bagan alir dalam pembuatan media NA dan pengujian TPC yang dapat dilihat pada **Gambar 3. 11** dan **Gambar 3. 12** :

a) Pembuatan Media NA



Gambar 3. 11 Bagan alir pembuatan media NA

b) Pengujian *Total Plate Count*



Gambar 3. 12 Bagan alir Pengujian *Total Plate Count*

Dari hasil pengujian, jumlah bakteri dibandingkan pada hari ke-0, 4, dan 7 untuk menentukan apakah populasi bakteri meningkat. Perbandingan ini bertujuan untuk mengamati

pengaruh bakteri *indigenous* dalam meningkatkan performa bioremediasi dalam pengolahan limbah cair tekstil. Perhitungan *Total Plate Count* mikroba dilakukan pada cawan petri dengan jumlah koloni antara 30-300. Hal ini dikarenakan media agar dengan jumlah koloni > 300 tidak valid untuk dihitung akibat risiko kesalahan perhitungan yang tinggi, sedangkan koloni < 30 tidak dianggap sah secara statistik (Suharmans 2023).

Perhitungan jumlah total bakteri dilakukan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Jumlah bakteri dinyatakan sebagai *Colony Forming Units* (CFU) (Maulidiyah and Syafii 2023). Berikut adalah rumus untuk menghitung TPC:

$$Jumlah\ koloni\ per\ cawan\ \times \frac{1}{Faktor\ pengenceran}$$

3.8 Analisis Data

Dalam penelitian optimisasi bioremediasi logam timbal (Pb) menggunakan bakteri *indigenous* dari tanah TPA Piyungan di industri tekstil Troso di Jepara dilakukan juga pengujian pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Bichemical Oxygen Demand* (BOD), suhu dan laju pertumbuhan bakteri. Faktor-faktor tersebut memainkan peran penting dalam pertumbuhan bakteri serta mekanisme penyisihan logam berat. Data dari pengujian tersebut kemudian dapat diinterpretasikan melalui grafik untuk melihat pengaruh bakteri *indigenous* (trend) dalam proses bioremediasi limbah industri tekstil Troso di Jepara. Selain itu, hasil pengujian dapat dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah industri tekstil yang berlaku untuk menilai sejauh mana kemampuan bakteri *indigenous* dalam mengolah limbah tersebut.

3.8.1 Analisis Korelasi Spearman

Analisis data statistik laju pertumbuhan bakteri *indigenous* (TPC) dengan hasil pengujian logam timbal (Pb), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Bichemical Oxygen Demand* (BOD) dilakukan dengan menggunakan metode korelasi spearman. Menurut Ginanjar Syamsuar (2020), Korelasi Spearman adalah metode analisis statistik non-parametrik yang digunakan untuk menentukan koefisien korelasi antara dua variabel yang datanya telah dipasangkan. Korelasi dilakukan sebagai bagian dari penelitian untuk mengetahui adanya hubungan antara dua variabel, serta untuk mengukur sejauh mana tingkat hubungan tersebut (Darmadi, 2011). Dalam pengujian korelasi spearman dilakukan formulasi Ho dan Ha dengan rumusan hipotesis :

- Ho : Tidak terdapat hubungan antara laju pertumbuhan (TPC) dengan Logam Pb, COD, dan BOD.

– Ha: Terdapat hubungan antara laju pertumbuhan (TPC) dengan Logam Pb, COD, dan BOD.

Untuk menentukan apakah Ho atau Ha yang diterima, ketentuan yang harus diikuti dengan membandingkan nilai sig. (2-tailed) dengan α (0,05) adalah sebagai berikut :

– Jika nilai sig. (2-tailed) > (0,05), maka Ho diterima.
– Jika nilai sig. (2-tailed) < (0,05), maka Ha diterima.

Nilai korelasi rank Spearman juga berada di antara -1 dan 1. Jika rho = 0, ini menunjukkan tidak adanya korelasi atau hubungan antara variabel independen dan dependen. Ketika rho = +1, terdapat hubungan positif antara kedua variabel tersebut. Sebaliknya, jika rho = -1, terdapat hubungan negatif antara variabel independen dan dependen. Tanda "+" dan "-" menunjukkan arah hubungan antara variabel-variabel tersebut (Wahyudi 2020). Pedoman dijelaskan oleh Kurniawati (2017), guna memberi label tingkat korelasi antar variabel dari nilai koefisien korelasi yang muncul di hasil pengujian korelasional dituangkan dalam tabel di bawah **Tabel 3. 7**:

Tabel 3. 7 Interpretasi Pada Nilai Koefisien Korelasi

Interval Nilai Koefisien Korelasi	**Tingkat Korelasi / Hubungan Antar Variabel**
0 – 0,25	Korelasi sangat Lemah
0,26 – 0,50	Korelasi Cukup
0,51 – 0,75	Korelasi Kuat
0,76 – 0,99	Korelasi Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

Sumber : (Kurniawati 2017)

Setelah, nilai rho sudah didapatkan dilakukan uji signifikansi. Jika nilai signifikansi (sig) kurang dari 0,05, maka Ho ditolak dan Ha diterima, yang berarti terdapat korelasi antara laju pertumbuhan (TPC) dengan logam Pb, COD, dan BOD. Namun, jika nilai sig lebih dari 0,05, maka Ho diterima dan Ha ditolak, menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara laju pertumbuhan dengan logam Pb, COD, dan BOD.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Sampel Air Limbah

Sumber sampel air limbah dalam penelitian ini menggunakan air limbah tenun industri tekstil di Desa Troso, Kabupaten Jepara. Sampel air limbah yang digunakan diambil dari air limbah yang dihasilkan selama proses pencucian dan pewarnaan kain tenun. Proses pencucian menggunakan berbagai deterjen dan bahan kimia untuk membersihkan kain, sementara proses pewarnaan menggunakan pewarna tekstil yang seringkali mengandung logam berat. Sampel tersebut memiliki karakteristik warna hitam pekat dan bau menyengat akibat tingginya kandungan bahan organik dan pewarna yang digunakan dalam proses produksi. Limbah cair dari industri tekstil juga mengandung polutan seperti zat warna, deterjen, logam berat seperti timbal (Pb), dan senyawa organik, yang dapat meningkatkan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*). Sebelum pengujian dengan bakteri *indigenous* dilakukan, sampel air limbah terlebih dahulu diuji agar hasilnya dapat dibandingkan dengan kondisi sebelum perlakuan. Berikut merupakan hasil karakterisasi sampel air limbah tekstil yang dapat dilihat pada **Tabel 4. 1** :

Tabel 4. 1 Karakterisasi Sampel Air Limbah Tekstil

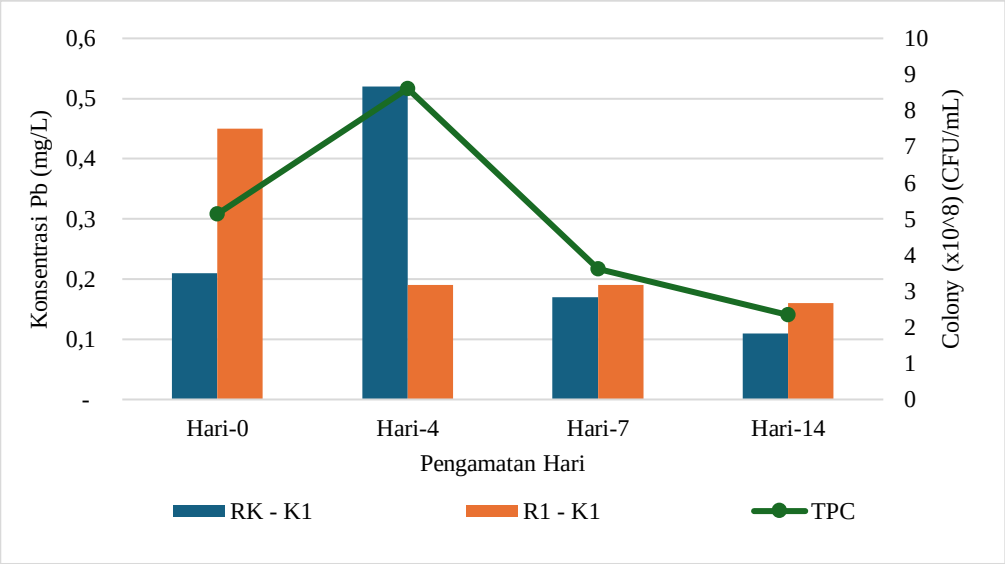
No	Parameter	Nilai	Unit	Kadar Maksimum
1	pH	11	-	6 – 9
2	BOD	215,51	mg/L	60
3	COD	33914	mg/L	150
4	Logam timbal (Pb)	5,71	mg/L	1
5	Suhu	28	-	<40

Berdasarkan hasil analisis kualitas air limbah dapat membandingkan parameter-parameter yang diukur dengan standar baku mutu air limbah sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah (KLHK No. P.16

2019). Nilai suhu yang terukur sebesar 28°C masih berada dalam batas baku mutu yang ditetapkan, yaitu di bawah 40°C. Nilai pH yang terukur adalah 11, menunjukkan air limbah bersifat sangat basa dan melebihi batas baku mutu (6-9). Menurut Pizzicato et al. (2023), pewarnaan kain sering melibatkan penggunaan bahan kimia alkali untuk membantu proses fiksasi warna pada serat tekstil. Bahan kimia alkali ini dapat meningkatkan pH air limbah. pH yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem air, mengganggu kehidupan akuatik, dan mengurangi efektivitas proses pengolahan air limbah berikutnya. Menurut Butkus and Manous (2004), tingginya nilai COD dan BOD menunjukkan adanya banyak bahan organik dan senyawa kimia dalam air limbah, yang dapat mengurangi kadar oksigen terlarut di perairan dan mencemari lingkungan. Sementara itu, tinggi kandungan logam timbal (Pb) dalam air limbah disebabkan oleh penggunaan timbal (Pb) sebagai bahan campuran dalam pewarna, seperti timbal putih untuk warna putih dan timbal merah untuk warna merah. Jika pewarna ini digunakan dalam proses produksi, Pb dapat terakumulasi dalam limbah cair dari industri tersebut (SUYUTI 2019).

4.2 Analisis Logam Timbal (Pb)

Berikut merupakan hasil dari hasil uji konsentrasilogam timbal (Pb) menggunakan AAS dan jumlah koloni yang tumbuh pada *agar plate*, dapat dilihat **Gambar 4. 1** dan **Gambar 4. 2** :



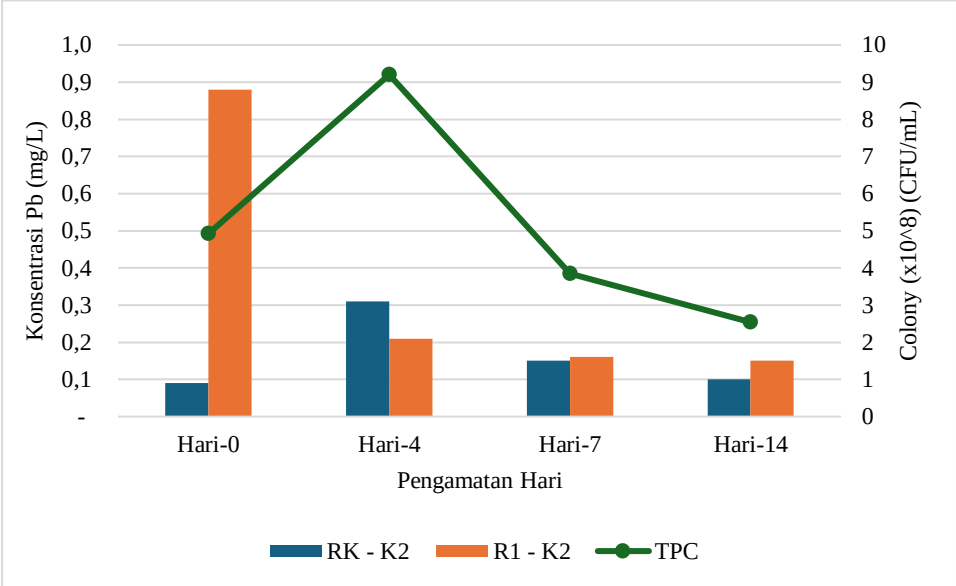
Gambar 4. 1 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 1 (0,7%) terhadap logam Pb

Dari grafik pada **Gambar 4. 1**, didapati hasil uji konsentrasi logam Pb menggunakan AAS dan jumlah koloni yang tumbuh pada *agar plate* menggunakan TPC. Pada perhitungan bakteri

menggunakan hitung cawan dalam bentuk *Colony Forming Unit* (CFU). Hasil pertumbuhan bakteri bertujuan untuk menilai efektivitas bakteri dalam bioremediasi dengan mengolah air limbah dan mendegradasi logam Pb. Diawali pada hari ke-0, bakteri yang tumbuh pada reaktor sebesar 5,14 $\times 10^8$ CFU/mL. Ini menunjukkan bahwa bakteri sudah ada dalam jumlah yang cukup besar untuk memulai proses bioremediasi. Pada hari ke-4, terjadi peningkatan signifikan dalam jumlah koloni bakteri menjadi $8{,}61 \times 10^8$ CFU/mL. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa bakteri aktif berkembang biak dan beradaptasi dengan lingkungan barunya, menunjukkan fase pertumbuhan eksponensial (Irianto 2007). Pada hari ke-7, jumlah koloni bakteri menurun menjadi $3{,}61 \times 10^8$ CFU/mL. Penurunan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk berkurangnya nutrisi atau akumulasi air limbah yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Pada hari ke-14, jumlah koloni bakteri menurun lebih lanjut menjadi $2{,}34 \times 10^8$ CFU/mL. Ini menunjukkan bahwa bakteri mencapai fase stasioner atau kematian, di mana laju kematian sel bakteri lebih tinggi daripada laju pembelahan sel (Aswini, Gopal, and Uthandi 2020). Pada fase ini, produksi metabolit sekunder meningkat karena bakteri bersaing untuk bertahan hidup. Bakteri mengeluarkan metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan, sementara sebagian lainnya mungkin terdampak oleh perubahan kondisi lingkungan yang disebabkan oleh metabolit tersebut (Mahjani and Putri 2020).

Selanjutnya, hasil pengujian konsentrasi logam Pb dalam R1-K1 dan RK-K1. Pada hari ke-0, konsentrasi Pb pada reaktor kontrol (RK-K1) sebesar 0,21 mg/L. Pada hari ke-4, terjadi peningkatan karena adanya reaksi alami tanah yang meningkatkan efisiensi proses bioremediasi sementara. Penurunan dari Hari-7 hingga Hari-14 disebabkan oleh degradasi alami atau inaktivasi logam timbal oleh faktor lain di lingkungan tanah. Sementara, pada hari ke-0, konsentrasiPb pada reaktor dengan penambahan bakteri (R1-K1) sebesar 0,45 mg/L. Ini menunjukkan bahwa bakteri tersebut sudah mulai aktif dalam mereduksi logam timbal. penurunan dari Hari-4 hingga Hari-7 sebesar 0,19 mg/L bisa mengindikasikan bahwa bakteri *indigenous* mencapai kapasitas maksimumnya dalam mendegradasi logam Pb di dalam air limbah. Penurunan kembali terjadi dari Hari-7 hingga Hari-14 (0,19 mg/L menjadi 0,16 mg/L) disebabkan oleh berbagai faktor seperti inaktivasi bakteri, degradasi logam timbal yang tereduksi. Keterkaitan antara pertumbuhan TPC dan konsentrasiPb menunjukkan bahwa semakin tinggi pertumbuhan koloni bakteri, semakin besar kemampuan bakteri dalam mendegradasi logam Pb. Penurunan jumlah koloni bakteri pada hari ke-7 dan ke-14 disebabkan

oleh berkurangnya nutrisi atau kondisi lingkungan yang kurang mendukung, namun efektivitas bioremediasi tetap terlihat jelas dengan penurunan konsentrasi Pb yang signifikan.



Gambar 4. 2 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 2 (1%) terhadap logam Pb

Dari grafik pada **Gambar 4. 2**, hasil pengujian TPC menunjukkan variasi jumlah koloni bakteri pada hari ke-0, hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-14. Pada hari ke-0, jumlah koloni TPC sebesar 4,92 x 10^8 CFU/mL, yang merupakan baseline yang menunjukkan populasi awal bakteri sebelum adanya pengaruh dari logam Pb dan bakteri tambahan. Pada hari ke-4, jumlah koloni TPC meningkat signifikan menjadi 9,20 x 10^8 CFU/mL, karena aktivitas bakteri yang mulai beradaptasi dengan lingkungan yang mengandung logam Pb. Bakteri yang ditambahkan mampu bertahan dan berkembang biak dalam medium, yang meningkatkan jumlah koloni secara signifikan.

Pada hari ke-7, jumlah koloni TPC menurun menjadi 3,85 x 10^8 CFU/mL. Penurunan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk kompetisi sumber nutrisi, akumulasi metabolit toksik, atau efek toksik dari konsentrasi Pb yang masih ada dalam medium. Penurunan ini menunjukkan bahwa populasi bakteri mengalami tekanan lingkungan yang mempengaruhi kemampuan mereka untuk berkembang biak. Pada hari ke-14, jumlah koloni TPC terus menurun menjadi 2,54 x 10^8 CFU/mL. Penurunan yang berkelanjutan ini mengindikasikan bahwa populasi bakteri mencapai fase stabilisasi setelah mengalami pertumbuhan awal yang pesat dan penurunan karena kondisi lingkungan yang menantang.

Konsentrasi logam Pb yang masih ada terus memberikan tekanan pada populasi bakteri, sehingga menghambat pertumbuhan bakteri.

Selanjutnya, hasil uji konsentrasi Pb pada konsentrasi 2 (1%). Pada hari ke-0, konsentrasi Pb lebih tinggi pada sampel yang diberi tambahan bakteri (R1-K2) dibandingkan yang tanpa penambahan bakteri (RK-K2). Pada hari ke-4, terjadi peningkatan konsentrasi Pb pada RK-K2 menjadi 0,31 mg/L, sementara pada R1-K2 terjadi penurunan konsentrasi Pb menjadi 0,21 mg/L. Peningkatan konsentrasi Pb pada RK-K2 dapat disebabkan oleh desorpsi Pb dari partikel-partikel. Penurunan konsentrasi Pb pada R1-K2 menunjukkan adanya aktivitas bakteri yang dapat mengakumulasi atau mengubah Pb sehingga mengurangi konsentrasi Pb.

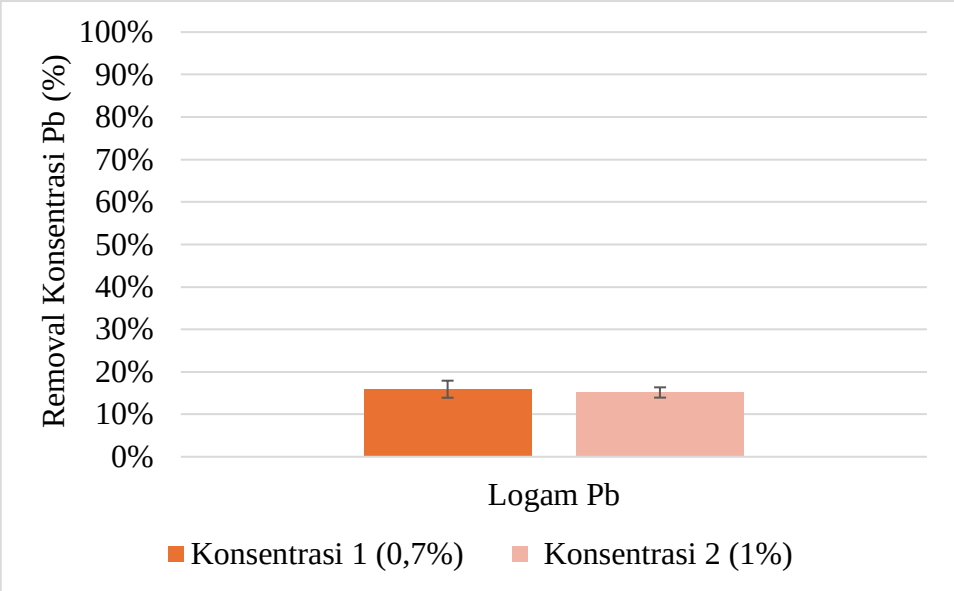
Pada hari ke-7, konsentrasi Pb pada RK-K2 menurun menjadi 0,15 mg/L, dan pada R1-K2 konsentrasinya sedikit menurun menjadi 0,16 mg/L. Penurunan konsentrasi Pb pada RK-K2 dapat disebabkan oleh proses pengendapan atau adsorpsi Pb ke partikel lain. Pada R1-K2, stabilitas konsentrasi Pb menunjukkan bahwa bakteri telah mengakumulasi Pb atau mengubahnya menjadi bentuk yang kurang toksik. Pada hari ke-14, konsentrasi Pb pada RK-K2 menurun kembali menjadi 0,10 mg/L, sedangkan pada R1-K2 konsentrasinya stabil pada 0,15 mg/L. Stabilitas konsentrasi Pb pada R1-K2 menunjukkan bahwa bakteri telah mencapai keseimbangan dalam mengakumulasi atau mengubah Pb. Resistensi bakteri *indigenous* terhadap logam timbal (Pb) terjadi karena kemampuannya mendetoksifikasi dampak logam berat dengan menggunakan protein atau materi granular seperti polifosfat yang berfungsi mengikat Pb di dalam sel. Resistensi ini terkait dengan keberadaan gen resistensi pada kromosom, plasmid, dan transposon, yang mengatur munculnya sifat resistensi pada bakteri. Selain itu, resistensi bakteri juga muncul melalui mekanisme transport aktif yang menggunakan ATP. Akumulasi logam berat Pb dalam sel bakteri terus berlangsung hingga batas toleransi maksimum, setelah itu bakteri tidak lagi dapat menahan kandungan logam berat tersebut (Fahruddin, Santosa, and . 2020).

Pada RK-K2, tanpa penambahan bakteri, konsentrasi Pb cenderung berfluktuasi, dengan peningkatan pada hari ke-4 dan penurunan bertahap hingga hari ke-14. Ini menunjukkan adanya proses desorpsi dan pengendapan alami tanpa bantuan bakteri. Pada R1-K2, dengan penambahan bakteri, terjadi penurunan signifikan konsentrasi Pb pada hari ke-4, yang menunjukkan bahwa bakteri berperan dalam bioremediasi Pb. Konsentrasi Pb kemudian stabil pada hari ke-7 dan ke-14, mengindikasikan bahwa bakteri telah mencapai keseimbangan dalam mengakumulasi atau mengubah Pb.

Menurut Satchanska et al (2005), beberapa jenis bakteri, termasuk genus *Pseudomonas*, *Leptothrix*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, dan *Bacillus*, dapat digunakan untuk menyerap logam berat. *Pseudomonas* dan *Bacillus* adalah yang paling tahan terhadap logam berat di lingkungan, menunjukkan potensi besar bagi bakteri *indigenous* yang belum teridentifikasi dalam mengurangi kandungan timbal (Pb) dalam air limbah tekstil. Menurut Kensa (2011), pendekatan bioremediasi logam timbal (Pb) dapat dilakukan melalui bioaugmentasi, yaitu penambahan mikroorganisme pendegradasi logam berat untuk membantu proses degradasi. Bioaugmentasi melibatkan penambahan mikroorganisme ke dalam lingkungan yang tercemar untuk mendegradasi kontaminan. Namun, ada beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses bioaugmentasi. Penambahan mikroba pada media tercemar dapat menyebabkan kematian mikroba selama proses atau setelah inokulasi, yang bisa disebabkan oleh kurangnya nutrien atau ketidakmampuan mikroba beradaptasi dengan lingkungan ekstrem. Pertumbuhan mikroba bergantung pada ketersediaan nutrien dan kondisi lingkungan tempat mereka berada. Ketersediaan nutrien sangat penting karena berfungsi sebagai sumber energi. Selain itu, kelembapan, derajat keasaman (pH), dan suhu lingkungan yang tidak sesuai dengan kondisi ideal mikroba dapat menghambat pertumbuhan mereka dan proses degradasi polutan.

4.2.1 Efisiensi Removal Logam Timbal (Pb)

Berikut merupakan efisiensi removal bakteri *indigenous* pada logam timbal (Pb), yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 3** :



Gambar 4. 3 Grafik Efisiensi Removal Logam Timbal (Pb)

Dari grafik pada **Gambar 4. 3**, Rata-rata efisiensi removal untuk konsentrasi 1 (0,7%) adalah 15,91%. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri indigenous yang digunakan dalam penelitian ini mampu mengurangi kandungan logam Pb secara efektif. Variasi dalam hasil efisiensi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk konsistensi kondisi lingkungan dalam reaktor, ketersediaan nutrisi, dan adaptasi bakteri terhadap lingkungan yang mengandung logam berat. Rata-rata efisiensi removal untuk konsentrasi 2 (1%) adalah 15,14%. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 1 (0,7%), hasil ini tetap menunjukkan bahwa bakteri indigenous memiliki kemampuan yang signifikan dalam mereduksi kandungan logam Pb. Efektivitas yang konsisten pada kedua konsentrasi menunjukkan bahwa bakteri ini berpotensi besar untuk digunakan dalam proses bioremediasi limbah tekstil yang mengandung logam berat. Setelah diperoleh hasil pada laju pertumbuhan bakteri dan hasil uji logam Pb, kemudian dilakukan metode korelasi spearman. Berikut merupakan korelasi antara laju pertumbuhan (TPC) dan hasil uji logam pada konsentrasi 1 (0,7%), yang dapat dilihat **Tabel 4. 2**:

Tabel 4. 2 Korelasi antar TPC dan Logam Pb konsentrasi 1 (0,7%)

	Logam Pb K1	TPC
Logam Pb K1	1	0,632
TPC	0,632	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan pada **Tabel 4. 2**, hasil pengujian korelasi menggunakan metode Rank Spearman menunjukkan adanya hubungan antara TPC dan Logam Pb K1, yang dibuktikan dengan tingkat signifikansi 0,368 > 0,05, maka Ho diterima. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan antara laju pertumbuhan (TPC) dengan logam Pb. Hubungan antara TPC dan Logam Pb K1 diklasifikasikan sebagai hubungan yang kuat, karena koefisien korelasi yang dihasilkan sebesar 0,632. Tabel yang terdapat dalam **Lampiran 1.7** memberikan gambaran tentang bagaimana distribusi kandungan logam Pb dalam air limbah dengan penambahan bakteri dengan nilai standar deviasi sebesar 0,135, rentang kandungan Pb pada konsentrasi 1 (0,7%) adalah sekitar 0,2475 ± 0,135 mg/L. Selanjutnya, korelasi TPC dan logam Pb yang terdapat pada konsentrasi 2 (1%), yang dapat dilihat **Tabel 4. 3** :

Tabel 4. 3 Korelasi antar TPC dan Logam Pb konsentrasi 2 (1%)

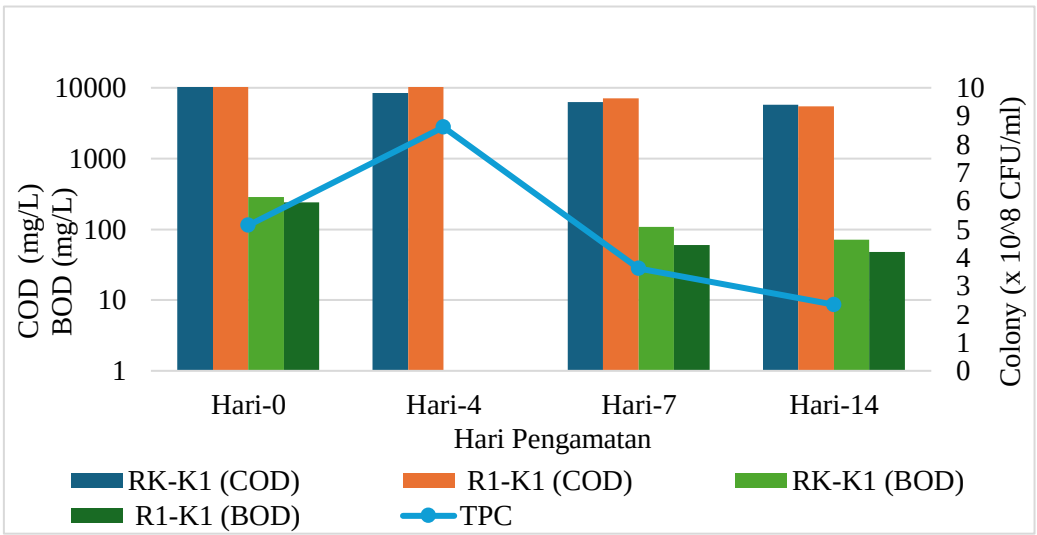
	Logam Pb K2	TPC
Logam Pb K2	1	0,800
TPC	0,800	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan data pada **Tabel 4. 3**, hasil pengujian korelasi menggunakan metode Spearman menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara TPC (*Total Plate Count*) dan kandungan Logam Pb K2, dengan tingkat signifikansi sebesar 0,200. Meskipun nilai signifikansi ini lebih besar daripada taraf signifikansi yang umumnya ditetapkan sebesar 0,05. Dengan demikian, Ho diterima, menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan signifikan antara laju pertumbuhan (TPC) dan logam Pb. Hubungan antara TPC dan Logam Pb K2 tetap diklasifikasikan sebagai hubungan yang sangat kuat, karena koefisien korelasi mencapai 0,800. Tabel pada **Lampiran 1.7**, mengilustrasikan distribusi kandungan logam Pb dalam air limbah yang ditambah dengan bakteri. Standar deviasi nilainya adalah 0,3543, sehingga rentang kandungan Pb pada konsentrasi 2 (1%) adalah sekitar 0,3500 ± 0,3543 mg/L.

4.3 Analisis kandungan *Chemical Oxygen Demands* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demands* (BOD)

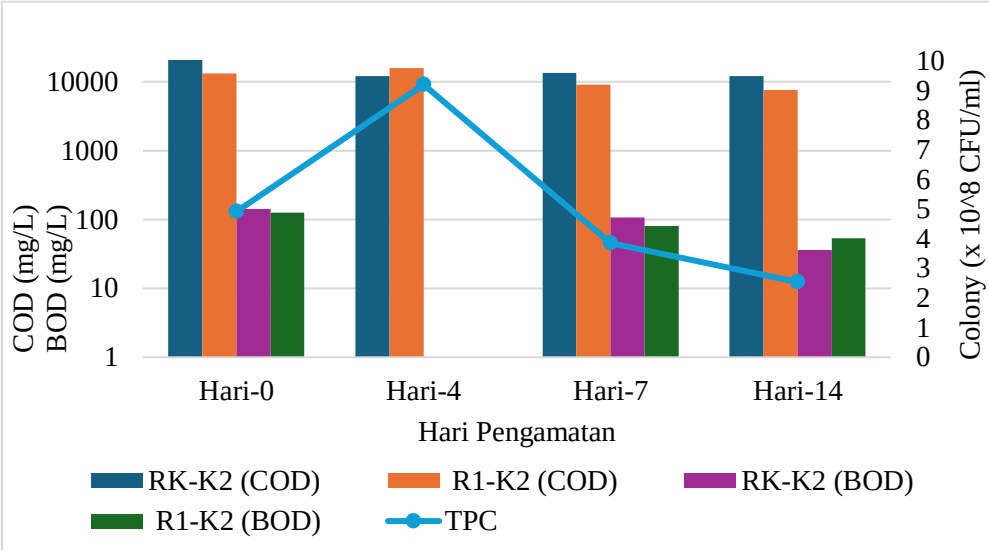
Berikut merupakan hasil uji COD menggunakan spektrofotometry refluks tertutup dan BOD menggunakan iodometri titrasi, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4. 5** :



Gambar 4.4 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 1 (0,7%) terhadap COD BOD

Berdasarkan **Gambar 4.4**, hasil *Total Plate Count* (TPC) bertujuan untuk mengidentifikasi bakteri *indigenous* yang berperan dalam proses degradasi COD dan BOD. TPC menunjukkan peningkatan pada hari ke-4, menunjukkan fase pertumbuhan eksponensial bakteri. Namun, setelah hari ke-4, jumlah bakteri mengalami penurunan hingga mencapai hari ke-14. Penurunan TPC ini disebabkan oleh berkurangnya sumber nutrisi atau kondisi lingkungan yang tidak mendukung untuk pertumbuhan bakteri.

Selanjutnya, hasil pengujian COD dan BOD menunjukkan bahwa proses pencucian air limbah tekstil menggunakan berbagai senyawa kimia dalam dosis tinggi menyebabkan akumulasi konsentrasi BOD dan COD yang sangat tinggi (Rizkia Widyawati, Putra Manuaba, and Dwi Adhi Suastuti 2015). Pada Hari-0, nilai COD untuk RK-K1 dan R1-K1 hampir sama, yaitu 28167 mg/L dan 28468 mg/L. Pada Hari-4, terjadi penurunan COD yang signifikan di kedua reaktor, namun penurunan lebih besar terjadi pada RK-K1 (8504 mg/L) dibandingkan R1-K1 (12593 mg/L). Penurunan ini berlanjut hingga Hari-14, di mana RK-K1 memiliki nilai COD 5798 mg/L dan R1-K1 5437 mg/L. Ini menunjukkan bahwa meskipun penambahan bakteri pada awalnya tidak signifikan dalam menurunkan COD pada R1-K1, pada hari-hari berikutnya penurunan COD pada R1-K1 jauh lebih besar dibandingkan dengan RK-K1. Nilai BOD juga menunjukkan pola yang serupa. Pada Hari-0, RK-K1 dan R1-K1 memiliki nilai BOD masing-masing 287 mg/L dan 239 mg/L. Pada Hari-7 dan Hari-14, nilai BOD untuk RK-K1 adalah 108 mg/L dan 72 mg/L, sedangkan untuk R1-K1 adalah 60 mg/L dan 48 mg/L. Pada nilai RK-K1 terjadi penurunan yang mengindikasikan bahwa mikroorganisme alami yang ada dalam limbah tekstil dapat melakukan proses biosorpsi atau bioakumulasi logam yang terkandung dalam limbah tersebut, meskipun prosesnya lebih lambat dibandingkan dengan reaktor R1-K1 yang melibatkan tambahan bakteri (Jamee and Siddique 2019). Dinding sel bakteri mengandung berbagai gugus fungsional, seperti karboksil, hidroksil, amina, dan fosfat, yang dapat mengikat ion logam. Proses ini bersifat pasif dan terjadi tanpa memerlukan energi dari sel, sehingga biosorpsi dapat terjadi bahkan pada sel yang mati. Ini menunjukkan bahwa penambahan bakteri membantu dalam menurunkan BOD lebih efektif dibandingkan dengan kontrol.



Gambar 4. 5 Grafik hasil uji bioremediasi oleh bakteri konsentrasi 2 (1%) terhadap COD BOD

Dari grafik pada **Gambar 4. 5**, Nilai TPC mengalami peningkatan pada Hari-4 yang menunjukkan fase pertumbuhan eksponensial bakteri. Pada Hari-0, nilai TPC adalah $4{,}92 \times 10^8$ CFU/mL, kemudian meningkat menjadi $9{,}20 \times 10^8$ CFU/mL pada Hari-4. Setelah itu, TPC menurun menjadi $3{,}85 \times 10^8$ CFU/mL pada Hari-7 dan lebih lanjut menjadi $2{,}54 \times 10^8$ CFU/mL pada Hari-14. Peningkatan TPC pada Hari-4 menunjukkan bahwa bakteri yang ditambahkan berkembang biak dengan cepat pada awal fase pengamatan. Namun, setelah fase pertumbuhan eksponensial, jumlah bakteri menurun, disebabkan oleh penurunan ketersediaan nutrisi atau perubahan kondisi lingkungan yang tidak lagi mendukung pertumbuhan bakteri secara optimal (Nev et al. 2021).

Pada uji bioremediasi tanpa penambahan bakteri (RK-K2), nilai COD awal adalah 23653 mg/L, yang menurun signifikan menjadi 12108 mg/L pada Hari-4, sedikit meningkat menjadi 13551 mg/L pada Hari-7, dan stabil kembali pada 12108 mg/L pada Hari-14. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun proses degradasi berlangsung, masih ada komponen organik alami yang membutuhkan waktu lebih lama untuk terurai sepenuhnya (Mouele et al. 2015). Pada Hari-7 mengalami kenaikan yang disebabkan oleh pelepasan senyawa organik dari bahan yang sulit terurai. Pada reaktor dengan penambahan bakteri (R1-K2), nilai COD awal adalah 13250 mg/L, meningkat menjadi 15655 mg/L pada Hari-4 akibat aktivitas awal bakteri, lalu menurun signifikan menjadi 9041 mg/L pada Hari-7 dan terus menurun hingga 7537 mg/L pada Hari-14. Penurunan signifikan COD pada R1-K2 menunjukkan bahwa bakteri yang ditambahkan sangat efektif dalam mendegradasi bahan organik dalam limbah tekstil setelah

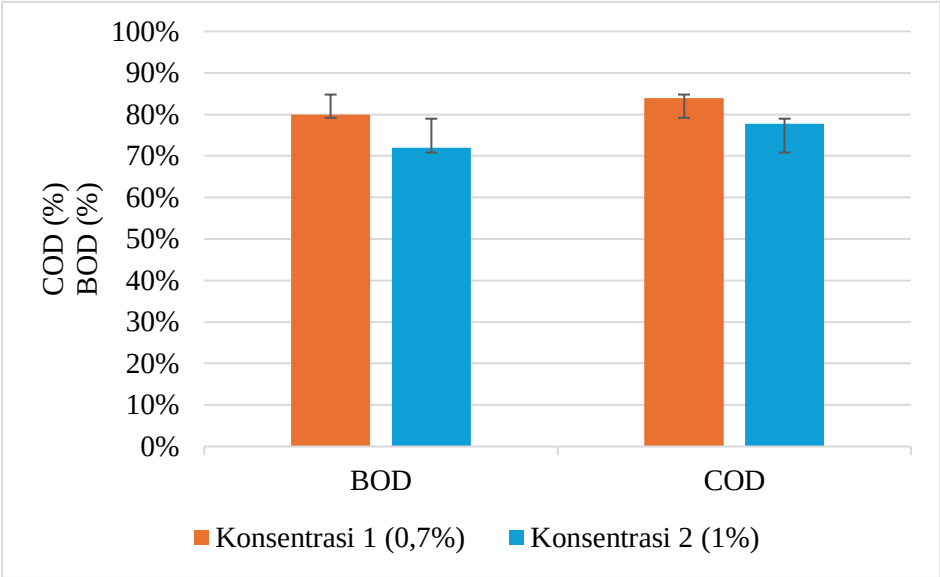
periode adaptasi awal. Penambahan bakteri meningkatkan aktivitas degradasi bahan organik dalam air limbah.

Penurunan BOD pada RK-K2 (Kontrol) dimulai dari Hari-0 dengan nilai BOD sebesar 144 mg/L. Selama pengamatan, nilai BOD mengalami penurunan secara bertahap, menjadi 108 mg/L pada Hari-7 dan kemudian menurun menjadi 36 mg/L pada Hari-14. Penurunan kadar BOD menunjukkan berkurangnya kebutuhan oksigen untuk menguraikan senyawa organik beracun. Dalam proses ini, senyawa organik diubah menjadi karbon dioksida, air, dan amonia. Saat zat organik dihilangkan melalui pengolahan biologis dengan bakteri alami, oksigen digunakan oleh bakteri untuk energi dan terbentuk massa sel baru (Wijayanti 2016). Sementara itu, penurunan BOD pada R1-K2 (dengan penambahan bakteri), menunjukkan hasil yang lebih signifikan. Pada Hari-0, nilai BOD adalah 126 mg/L, yang kemudian mengalami penurunan yang lebih cepat menjadi 81 mg/L pada Hari-7 dan terus menurun menjadi 54 mg/L pada Hari-14. Kecepatan penurunan BOD yang lebih tinggi pada R1-K2 menunjukkan bahwa penambahan bakteri dalam sistem ini secara efektif mempercepat proses biosorpsi logam dan penguraian senyawa organik. Penambahan bakteri dalam R1-K2 mempercepat laju pemecahan bahan organik, yang mengarah pada penurunan nilai BOD yang lebih besar dibandingkan dengan kontrol tanpa penambahan bakteri.

Menurut H Ariadi, Mahmudi, and Fadjar (2019), penurunan konsentrasi BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) disebabkan oleh proses penguraian limbah oleh bakteri dalam kondisi aerob. Selama 14 hari perlakuan, peningkatan konsentrasi oksigen terlarut yang diamati, menunjukkan bahwa suplai oksigen dari proses aerasi mendukung bakteri dalam degradasi limbah. Menurut Heri Ariadi, Linayati, and Mardiana (2022), terjadinya penurunan nilai BOD dan COD dalam air limbah dipengaruhi oleh proses dekomposisi material organik oleh bakteri *indigenous*. Beberapa senyawa gas dan limbah organik akan sangat mudah terurai oleh komunitas bakteri decomposer apabila kondisi pH, suhu, dan ketersedian oksigen terlarut di lingkungan dalam jumlah yang mencukupi (Yun et al, 2021). Beberapa senyawa gas dan limbah organik dapat terurai dengan mudah oleh bakteri dekomposer, tergantung pada kondisi pH, suhu, dan ketersediaan oksigen terlarut yang memadai di lingkungan tersebut.

4.3.1 Efisiensi Removal COD dan BOD

Berikut merupakan efisiensi removal COD dan BOD, yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 6**:



Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Removal COD dan BOD

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4. 6**, efisiensi removal COD berkisar antara 84,50% hingga 83,44%, dengan rata-rata efisiensi sebesar 83,97%. Ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi ini, proses pengolahan limbah tekstil memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengurangi kadar COD. Efisiensi removal COD yang tinggi ini menunjukkan bahwa metode yang diterapkan efektif dalam mendegradasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Untuk konsentrasi 2 (1%), efisiensi removal COD bervariasi dari 72,28% hingga 80,26%, dengan rata-rata efisiensi sebesar 77,78%. Meskipun efisiensi removal COD pada konsentrasi ini umumnya cukup rendah dibandingkan dengan konsentrasi 1 (0,7%), nilai-nilai yang didapat menunjukkan bahwa proses pengolahan juga efektif dalam mengurangi kadar COD, meskipun tidak seefisien pada konsentrasi 1 (0,7%). Hal ini terjadi karena kematian bakteri yang mengurai limbah, yang menyebabkan peningkatan biomassa serta konsentrasi COD, sehingga mengurangi efektivitas bakteri dalam mengolah limbah tersebut (Ismail , 2020).

Sedangkan, efisiensi removal BOD pada konsentrasi 1 (0,7%) berkisar antara 72% hingga 83% dengan rata-rata efisiensi sebesar 80%. Ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 1 (0,7%), proses pengolahan limbah tekstil memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengurangi kadar BOD, dengan rata-rata efisiensi sebesar 80%. Efisiensi removal yang tinggi ini menunjukkan bahwa metode yang diterapkan efektif dalam mendegradasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Untuk konsentrasi 2 (1%), efisiensi removal BOD bervariasi dari 67% hingga 83% dengan rata-rata efisiensi sebesar 72%. Meskipun efisiensi removal BOD pada

konsentrasi 2 (1%) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 1 (0,7%), nilai-nilai yang didapat menunjukkan bahwa proses pengolahan tetap efektif dalam mengurangi kadar BOD, dengan rata-rata efisiensi sebesar 72%. Secara keseluruhan, kedua konsentrasi menunjukkan tingkat efisiensi removal BOD dan COD yang cukup tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pengolahan yang diterapkan efektif dalam menguraikan senyawa organik dalam limbah tekstil, meskipun terdapat perbedaan dalam efisiensi antara kedua konsentrasi tersebut. Setelah mendapatkan hasil dari laju pertumbuhan bakteri serta uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan metode korelasi spearman. Pada konsentrasi 1 (0,7%) dilakukan korelasi spearman antara BOD dan COD dan TPC yang dapat dilihat pada **Tabel 4. 4** dan **Tabel 4. 5**:

Tabel 4. 4 Korelasi antar TPC dan BOD Konsentrasi 1 (0,7%)

	BOD R1-K1	TPC
BOD R1-K1	1	1
TPC	1	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan data pada **Tabel 4. 4**, menggunakan Spearman's rho untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel. Data tersebut didapatkan koefisien korelasi sebesar 1 dan signifikansi pada tingkat 0,01. Nilai signifikasi yang diperoleh adalah 0,01 < 0,05, maka Ho ditolak dan Ha diterima. Ini berarti terdapat hubungan yang signifikan antara laju pertumbuhan (TPC) dengan BOD. Hubungan positif yang sempurna mengindikasikan bahwa penurunan dalam BOD diikuti oleh penurunan dalam TPC, yang berarti bahwa aktivitas bakteri yang diukur melalui TPC berkontribusi terhadap penurunan BOD melalui proses biokimia (Arlyapov et al. 2022). Tabel yang ada di **Lampiran 1.8**, mengilustrasikan distribusi kandungan BOD dalam air limbah yang ditambah dengan bakteri. Standar deviasi nilainya adalah 106,978, sehingga rentang kandungan BOD pada konsentrasi 1 (0,7%) adalah sekitar 86,96 ± 106,978mg/L.

Tabel 4. 5 Korelasi antar TPC dan COD konsentrasi 1 (0,7%)

	COD R1-K1	TPC
COD R1-K1	1	0,800
TPC	0,800	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan **Tabel 4. 5**, menunjukkan hubungan antara COD (*Chemical Oxygen Demand*) konsentrasi 1 (0,7%)dengan TPC (*Total Plate Count*). Koefisien korelasi sebesar 0,800 menunjukkan hubungan yang kuat dan positif antara COD R1-K1 dan TPC. Dimana, penurunan dalam COD R1-K1 cenderung diikuti oleh penurunan dalam TPC. Tingkat signifikansi sebesar 0,200 menunjukkan bahwa korelasi ini tidak signifikan pada tingkat 0,05 atau 0,01. Hubungan positif yang kuat antara COD dan TPC menunjukkan bahwa penurunan aktivitas bakteri yang diukur melalui TPC cenderung berhubungan dengan penurunan COD. Hal ini berarti bahwa ketika jumlah bakteri berkurang, kapasitas mereka untuk mendegradasi bahan organik juga berkurang, yang menyebabkan penurunan kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi dalam air limbah. Tabel yang terdapat pada **Lampiran 1.9**, menggambarkan distribusi kandungan COD dalam air limbah yang ditambah dengan bakteri dengan standar deviasi nilainya adalah 10508,532, sehingga rentang kandungan COD pada konsentrasi 1 (0,7%) adalah sekitar 13389,75 ± 10508,532mg/L. Pada konsentrasi 2 (1%) dilakukan korelasi spearman antara BOD dan COD dan TPC yang dapat dilihat pada **Tabel 4. 6** dan **Tabel 4. 7** :

Tabel 4. 6 Korelasi antar TPC dan BOD konsentrasi 2 (1%)

	BOD R1-K2	TPC
BOD R1-K2	1	1
TPC	1	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan data korelasi pada **Tabel 4. 6**, menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan signifikan antara BOD pada konsentrasi 2 (1%) dengan TPC, dengan koefisien korelasi sebesar 1 dan signifikansi pada tingkat 0,01. Hubungan positif yang sempurna mengindikasikan bahwa penurunan dalam BOD diikuti oleh penurunan dalam TPC, yang berarti bahwa aktivitas bakteri yang diukur melalui TPC berkontribusi terhadap penurunan BOD melalui proses biokimia (Arlyapov et al. 2022). Tabel di **Lampiran 1.8** menunjukkan distribusi kandungan BOD dalam air limbah yang telah ditambah bakteri. Nilai standar deviasi adalah 36,427, sehingga rentang kandungan BOD pada konsentrasi 2 (1%) adalah sekitar 86,96 ± 36,427 mg/L.

Tabel 4. 7 Korelasi antar TPC dan COD konsentrasi 2 (1%)

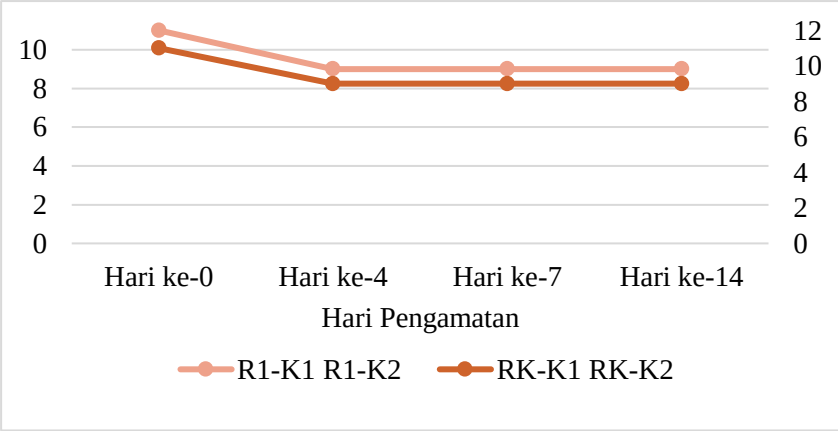
	COD R1-K2	TPC
COD R1-K2	1	1
TPC	1	1

**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan pada **Tabel 4. 7**, analisis korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif sempurna antara COD (*Chemical Oxygen Demand)* di konsentrasi 2 (1%) dengan *Total Plate Count* (TPC), dengan koefisien korelasi Spearman sebesar 1 yang signifikan pada tingkat 0.01 (2-*tailed*). Hubungan korelasi tersebut sempurna dengan penurunan COD dan penurunan TPC, menunjukkan bahwa aktivitas mikroba (diukur dengan TPC) berpengaruh langsung terhadap penurunan tingkat COD. Sehingga, aktivitas mikroba (TPC) menurun, ini bisa berarti bahwa jumlah mikroorganisme yang bertanggung jawab untuk menguraikan polutan organik juga berkurang, yang dapat menyebabkan penurunan COD karena bahan organik yang diuraikan juga berkurang. Tabel yang terdapat pada **Lampiran 1.9**, menggambarkan distribusi kandungan COD dalam air limbah yang ditambah dengan bakteri dengan standar deviasi nilainya adalah 3742,180 sehingga rentang kandungan COD pada konsentrasi 2 (1%) adalah sekitar 11370,75 ± 3742,180 mg/L.

4.4 Analisis pH Setelah Bioremediasi

Pengujian pH digunakan untuk mengetahui derajat keasaman pada kondisi air limbah industri tekstil setelah ditambahkan dengan bakteri pada Konsentrasi1 (0,7%) dan Konsentrasi2 (1%). Parameter ini penting karena dapat dipengaruhi oleh aktivitas bakteri yang mengolah limbah, seperti metabolisme yang dapat memengaruhi pH. Berikut merupakan hasil pengujian pH yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 7** :



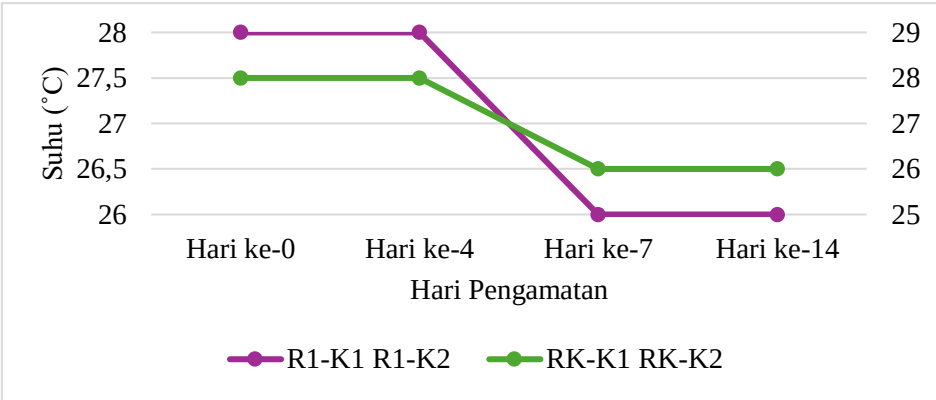
Gambar 4. 7 Grafik Uji pH Setelah Bioremediasi pada konsentrasi 1 (0,7%) dan konsentrasi 2 (1%)

Dari grafik **Gambar 4. 7**, Pada hari ke-0, semua sampel, baik kontrol maupun reaktor dengan penambahan bakteri, memiliki nilai pH yang sama yaitu 11. Setelah proses bioremediasi selama 14 hari, terjadi penurunan pH yang signifikan pada hari ke-4 di semua reaktor, termasuk

kontrol. Penurunan pH juga diamati pada kontrol (RK-K1 dan RK-K2), yang menunjukkan bahwa faktor lain selain aktivitas bakteri juga berperan dalam perubahan pH. Faktor ini bisa berupa reaksi kimia spontan dalam air limbah atau pengaruh lingkungan sekitar. Penambahan bakteri pada konsentrasi 1 (0,7%) dan 2 (1%) dalam proses bioremediasi air limbah tekstil dapat menurunkan pH dari 11 ke 9 dalam 4 hari pertama. Setelah itu, pH tetap stabil di angka 9 hingga hari ke-14. Perubahan nilai pH selama proses bioremediasi bakteri *indigenous* secara aerobik merupakan akibat dari perubahan kandungan nitrogen, proses nitrifikasi, dan penurunan alkalinitas. Proses nitrifikasi mengubah nitrogen organik menjadi nitrit dan kemudian nitrat, menghasilkan ion hidrogen yang menurunkan pH (Wijayanti 2016). Data uji pH dalam proses bioremediasi dengan bakteri *indigenous* menunjukkan bahwa perubahan pH adalah indikasi penting dari aktivitas metabolik mikroorganisme .

4.5 Analisa Suhu Setelah Bioremediasi

Suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri, oleh karena itu, dalam penelitian ini, suhu diukur untuk melihat pengaruh dalam uji penyisihan Pb oleh bakteri *indigenous*. Berikut adalah hasil pengukuran suhu yang dapat dilihat pada **Gambar 4. 8**:



Gambar 4. 8 Grafik Uji Suhu Setelah Bioremediasi pada konsentrasi 1 (0,7%) dan konsentrasi 2 (1%)

Dari grafik **Gambar 4. 8**, suhu di semua reaktor, baik kontrol maupun reaktor dengan variasi konsentrasi limbah, berkisar antara 26°C hingga 28°C. Tidak ada perbedaan suhu yang signifikan di antara hari-hari pengamatan dan antara variasi reaktor. Menurut Effendi (2003), suhu optimum bagi pertumbuhan mikroorganisme perairan adalah antara 30°C-35°C dan 20°C-30°C. Dengan demikian, suhu pada reaktor uji yang berada di kisaran 26°C hingga 28°C masih berada dalam rentang yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Dengan suhu yang stabil dan berada dalam rentang optimal, bakteri *indigenous* dapat berfungsi secara maksimal

dalam menyisihkan konsentrasi Pb dalam limbah. Hal ini menunjukkan bahwa suhu dalam reaktor tetap berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan bakteri, yang penting untuk memastikan efektivitas proses penyisihan Pb.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil penurunan yang dilakukan oleh bakteri konsentrasi 1 (0,7%) mampu menurunkan kadar Pb sebesar 0,16 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 15,91%, kandungan COD sebesar 5437 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 83,97%, dan kandungan BOD sebesar 48 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 80%. Sedangkan pada konsentrasi 2 (1%) menurunkan kadar logam Pb sebesar 0,15 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 15,14%, kandungan COD sebesar 7537 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 77,78%, dan kandungan BOD sebesar 54 mg/L dengan efisiensi removal sebesar 72%.
2. Hasil pengujian menunjukkan bakteri *indigenous* mempunyai efektivitas dalam menurunkan kandungan logam timbal (Pb), kadar BOD, kadar COD dalam air limbah tekstil di Desa Troso, Kabupaten Jepara. Pemanfaatan bakteri *indigenous* dalam proses bioremediasi menawarkan solusi yang efektif untuk mengatasi pencemaran logam berat di air limbah. Efektivitas ini diharapkan dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air yang dapat merusak ekosistem akuatik, serta mengurangi risiko kesehatan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar area industri tekstil.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti, berikut saran yang dapat diberikan, yaitu :

1. Penelitian lebih lanjut diperlukan terkait identifikasi spesies dan sifat-sifat bakteri *indigenous* yang diisolasi dari tanah TPA Piyungan untuk remediasi air limbah tekstil.
2. Menganalisis pengaruh mikroorganisme lain yang terdapat di air limbah terhadap efektivitas bioremediasi oleh bakteri *indigenous*.
3. Mengevaluasi kembali kinerja bioremediasi dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan standar peraturan lingkungan yang berlaku.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

AJAO, Abdullahi, and Sunday AWE. 2018. "Bioremediation of Wastewaters from Local Textile Industries." *Natural and Applied Sciences Journal* 1(2): 16–25.

Albina, Pierre et al. "The Main Cause of the Decrease in External PH Is the Production of Organic Acids and the Nitrification of Bacteria(Molinuevo-Salces et Al., 2010). However, the above Conclusions Cannot Explain Why the Nitrification Process of Bacteria in the Neutral Mediu."

Aminah, Ummi, and Fatmawati Nur. 2019. "BIOSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) OLEH BAKTERI." *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi* 12(1): 50–70.

Ansori et al. 2022. "POTENSI BAKTERI INDIGEN DALAM MENGAKUMULASI TIMBAL (Pb) DARI SUNGAI WONOKROMO, KOTA SURABAYA." *Science* 7(1): 1–8. http://link.springer.com/10.1007/s00232-014-9701-9%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/s00232-014-9700-x%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jmr.2008.11.017%0Ahttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1090780708003674%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1191.

Ariadi, H, M Mahmudi, and M Fadjar. 2019. "Correlation between Density of Vibrio Bacteria with Oscillatoria Sp. Abundance on Intensive Litopenaeus Vannamei Shrimp Ponds." *Research Journal of Life Science* 6(2): 114–29. https://doi.org/10.21776/ub.rjls.2019.006.02.5.

Ariadi, Heri, Linayati Linayati, and Tri Yusufi Mardiana. 2022. "Pengaruh Bakteri Indigenous Dalam Degradasi Senyawa Fisika Kimia Limbah Batik Dan Tekstil." *Jurnal Litbang Kota Pekalongan* 20(2): 168–75.

Arlyapov, Vyacheslav A. et al. 2022. "Microbial Biosensors for Rapid Determination of Biochemical Oxygen Demand: Approaches, Tendencies and Development Prospects." *Biosensors* 12(10).

Aswini, K., N. O. Gopal, and Sivakumar Uthandi. 2020. "Optimized Culture Conditions for Bacterial Cellulose Production by Acetobacter Senegalensis MA1." *BMC Biotechnology* 20(1): 1–16.

Atlas, Ronald M., and Terry C. Hazen. 2011. "Oil Biodegradation and Bioremediation: A Tale of the Two Worst Spills in U.S. History." *Environmental Science and Technology* 45(16): 6709–15.

Ayangbenro, Ayansina Segun, and Olubukola Oluranti Babalola. 2017. "A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(1).

Badan Standardisasi Nasional. 2009. "SNI 6989.72-2009 Tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)." *Badan Standardisasi Nasional*: 1–28.

———. 2019. "SNI 6989.02:2019 Cara Uji COD Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri." *Standar Nasional Indonesia*: 55.

Basha, S Ameer, and K Rajaganesh. 2014. "Original Research Article Microbial Bioremediation of Heavy Metals From Textile Industry Dye Effluents Using Isolated Bacterial Strains." 3(5): 785–94.

Butkus, Michael A., and Joe D. Manous. 2004. "Biochemical Oxygen Demand." *Water Encyclopedia*: 639–42.

Chen, Xiaobing, Judith V. Wright, James L. Conca, and Loni M. Peurrung. 1997. "Effects of PH on Heavy Metal Sorption on Mineral Apatite." *Environmental Science and Technology* 31(3): 624–31.

Diah Febriana Samawaty. 2004. "Hubungan Jarak Tempat Pembuangan Limbah Cair Sentra Indutri Tenun Ikat Troso Dengan Kadar Nitrat Dan Nitrit Pada Air Sumur Gali Di Desa Troso Kecmatan Pecangaan Kabupaten Jepara." *Skripsi* 099013.

Fahruddin, Fahruddin, Slamet Santosa, and . Sareda. 2020. "Toleransi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bakteri Indigenous Dari Air Laut Pelabuhan Paotere, Makassar (Heavy Metal Lead [Pb] Tolerance of Indigenous Bacteria from Seawater in Paotere Port, Makassar)." *Aquatic Science & Management* 8(1): 8.

Fajri, Joni Aldilla et al. 2022. "IDENTIFIKASI PENGARUH BAKTERI INDIGEN TERHADAP PERFORMA WETLAND UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH TENUN Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan PRAMADISA DWI AMANDA 17513144."

Fauzi, Indah Gusti, Indri Novita Sari, Rendi Ananda, and Miranda Dwi Putri Gultom. 2019. "Industri Tekstil." : 1–30.

Harahap, Nabila Ananda Putri et al. 2023. "Analisis Perkkembangan Industri Manufaktur Indonesia." *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam* 4(5): 1444–50.

Haris, Zainal. 2008. "Termometer."

Harvyandha, Avryan, Mila Kusumawardani, and Rosyid Abdul. 2019. "Telemetri Pengukuran Derajat Keasaman Secara Realtime Menggunakan Raspberry Pi." *Jurnal Jartel* 9(4): 519–

24.

Hidayat, Nur dkk. 2018. “Bahaya Limbah Industri Dan Limbah Rumah Tangga Terhadap Lingkungan.” : 1–45.

Ikerismawati, Senja. 2019. “BIOREMEDIASI Pb OLEH BAKTERI INDIGEN LIMBAH CAIR AGAR.” *Jurnal Biosilampari : Jurnal Biologi* 1(2): 51–58.

Indonesia, Standar Nasional, and Badan Standardisasi Nasional. 2004. “Sni 06-6989.14-2004.”

Irianto. 2007. “Pencemar Yang Bersifat Biologis Akibat Mikroba Terdiri Atas 7.” *Jurnal Teknologi*: 7–23.

Ismail, M. 2020. “Efektivitas Bakteri Indigenous Dalam Mendegradasi Chemical Oxygen Demand (Cod) Pada Limbah Tenun Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan.” *Semirata 2015 Bidang MIPA BKS-PTN barat*: 243–50.

Jamee, Radia, and Romana Siddique. 2019. “Biodegradation of Synthetic Dyes of Textile Effluent by Microorganisms: An Environmentally and Economically Sustainable Approach.” *European Journal of Microbiology and Immunology* 9(4): 114–18.

Jouanneau, S. et al. 2014. “Methods for Assessing Biochemical Oxygen Demand (BOD): A Review.” *Water Research* 49(1): 62–82. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066.

Kavamura, Vanessa Nessner, and Elisa Esposito. 2010. “Biotechnological Strategies Applied to the Decontamination of Soils Polluted with Heavy Metals.” *Biotechnology Advances* 28(1): 61–69. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.09.002.

Kensa, V Mary. 2011. “Bioremediation-an-Overview-161-168.Pdf.” *Jr. of Industrial Pollution Control* 27(2): 161–68.

Kimia, Jurnal, and D A N Rekayasa. 2023. “JURNAL KIMIA DAN REKAYASA ANALISIS BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD) DAN BAKTERI FECAL COLIFORM PADA AIR SUNGAI NGRINGO.” 3.

KLHK No. P.16. 2019. “Permen KLHK.” *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah* 53(9): 1689–99. file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf.

Kurniawati, putri. 2017. “No Titleالتواصل ال «جرائم تتغذى على طفرة ..الابتزاز الإلكتروني.” *Universitas Nusantara PGRI Kediri* 01: 1–7.

Lan, Shanhong et al. 2022. “Treatment of Nitrate-Nitrogen-Containing Wastewater via Aerobic Denitrifying Bacteria Using Different Carbon Sources.” *BioResources* 17(2): 1972–87.

Lestari, Endang Susi, Shabri Putra Wirman, Noni Febriani, and Aji Suroso. 2015. “UJI PH

DAN KARAKTER FISIK KUALITAS AIR DI PEMUKIMAN PABRIK KELAPA SAWIT (PKS) NAGA SAKTI TAPUNG HILIR." *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan* 5(2): 131–39.

Li, Wenjing, and Junkai Zhang. 2020. "Prediction of BOD Concentration in Wastewater Treatment Process Using a Modular Neural Network in Combination with the Weather Condition." *Applied Sciences (Switzerland)* 10(21): 1–14.

Mahjani, and Dwi Hilda Putri. 2020. "Growth Curve of Endophyte Bacteria Andalas (Morus Macroura Miq.) B.J.T. A-6 Isolate." *Jurnal Serambi Biologi* 5(1): 29–32.

Martiningsih, and Syifa Ur Rahmi. 2019. "Efektifitas Bakteri Indigenous Limbah Cair Batik Untuk Dekolorisasi Sisa Pencelupan Tekstil Dengan Zat Warna Remazol." *Jurnal Teknologika* 9(2): 1–7.

Mas, Ikan et al. 2016. "13164-Article Text-26749-5-10-20170228 (1)." 5(1): 1–8.

Maulidiyah, Nur Lailatul, and Syafii. 2023. "Motif Khas Tenun Ikat Troso Sebagai Sumber Pembelajaran Muatan Lokal Seni Rupa SMP Di Kabupaten Demak." *Eduarts* 12(1): 70–83. http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduart.

Medfu Tarekegn, Molalign, Fikirte Zewdu Salilih, and Alemitu Iniyehu Ishetu. 2020. "Microbes Used as a Tool for Bioremediation of Heavy Metal from the Environment." *Cogent Food and Agriculture* 6(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1783174.

Merangin. 2018. "Bab I ْ ُي خ ِ حض يا." *Galang Tanjung* (2504): 1–9.

Montalvo, Luz Elena Rangel. 2015. "No TitleÉ?_____ __ __ _____ ___ _ __ __ _____ _____ ___ _ __ ____ _." *Ekp* 13(36): 5–23.

Mouele, Emile S.Massima, Jimoh O. Tijani, Ojo O. Fatoba, and Leslie F. Petrik. 2015. "Degradation of Organic Pollutants and Microorganisms from Wastewater Using Different Dielectric Barrier Discharge Configurations—a Critical Review." *Environmental Science and Pollution Research* 22(23): 18345–62.

Nengsih, Bekti Krisna. 2021. "Pengaruh Jumlah Pengenceran Terhadap Perhitungan Cemaran Mikroba Pada Tepung Terigu Dengan Metode Angka Lempeng Total (Alt)." *Jurnal ilmiah biologi* 11(3): 17–19.

Nev, Olga A. et al. 2021. "Predicting Microbial Growth Dynamics in Response to Nutrient Availability." *PLoS Computational Biology* 17(3): 1–20. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008817.

Newsome, Laura, and Carmen Falagán. 2021. "The Microbiology of Metal Mine Waste: Bioremediation Applications and Implications for Planetary Health." *GeoHealth* 5(10): 1–

53.

Nguyen, Thi Huyen Thu et al. 2023. "Efflux Pump Inhibitors in Controlling Antibiotic Resistance: Outlook under a Heavy Metal Contamination Context." *Molecules* 28(7).

Nguyen, Yen T. et al. 2017. "Community Structure of a Sulfate-Reducing Consortium in Lead-Contaminated Wastewater Treatment Process." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 33(1).

Niland, Norah et al. 2020. "ISOLASI BAKTERI YANG BERPOTENSI SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI TIMBAL (Pb) DARI LAHAN TAMBANG EMAS POBOYA PALU SULAWESI TENGAH." *Global Health* 167(1): 1–5. https://www.e-ir.info/2018/01/14/securitisation-theory-an-introduction/.

Novianty, R. et al. 2020. "Potensi Tiga Isolat Bakteri Indigen Dari Kabupaten Siak Provinsi Riau Dalam Mendegradasi Naftalena." *Jurnal Kimia* 14(41): 94.

Nugraini, Berlian, Wardah Alfa Syahra, and S Pd Nunuk Sulistyaningrum Suprapto. 2023. "Magic Moringa Seed Powder Sebagai Upaya Penjernihan Air Limbah Sungai Troso Jepara Dengan Metode Perendaman Serbuk Biji Kelomagic Moringa Seed Powder Sebagai Upaya Penjernihan Air Limbah Sungai Troso Jepara Dengan Metode Perendaman Serbuk Biji Kelor." *Lomba Karya Tulis Ilmiah* 4(1): 311–20. https://journal.ittelkom-sby.ac.id/lkti/article/view/301.

Ojuederie, Omena Bernard, and Olubukola Oluranti Babalola. 2017. "Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(12).

Pizzicato, Barbara et al. 2023. "Advancements in Sustainable Natural Dyes for Textile Applications: A Review." *Molecules* 28(16): 1–22.

Pratiwi, Wardha Maulidya, and Mahanani Tri Asri. 2022. "Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Indigenous Pendegradasi Pestisida Profenofos Dan Klorantraniliprol Di Jombang Jawa Timur." *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi* 11(2): 300–309.

Putri, Putu Dezy Kartika. 2020. "Perbedaan Kualitas Air Limbah Rumah Sakit Wangaya Denpasar Tahun 2020." : 9–41. http://repository.poltekkes-denpasar.ac.id/4311/2/BAB II fix.pdf.

Qi, Yiting et al. 2024. "Research on the Analysis of and Countermeasures for the Eutrophication of Water Bodies: Waihu Reservoir as a Case Study." *Processes* 12(4).

Qothrunnada, Emilya Sausan. 2023. "TUGAS AKHIR POTENSI BAKTERI INDIGENOUS DARI TANAH TPA PIYUNGAN DALAM BIOREMEDIASI LARUTAN LOGAM

TIMBAL (Pb)."

Rabbani, R, M U Audita, and N Hamida. 2022. "Potensi Bioremediasi Dengan Pemanfaatan Bakteri Indigenous Dalam Menurunkan Nilai BOD-COD Limbah Air TPST Piyungan." *Kist Uin Suka*. https://vicon.uin-suka.ac.id/index.php/KIST/article/view/1189%0Ahttps://vicon.uin-suka.ac.id/index.php/KIST/article/download/1189/727.

Rizki, Zuriani, Fitriana Fitriana, and Asri Jumadewi. 2022. "Identifikasi Jumlah Angka Kuman Pada Dispenser Metode TPC (Total Plate Count)." *Jurnal SAGO Gizi dan Kesehatan* 4(1): 38.

Rizkia Widyawati, Yudith, Ida Putra Manuaba, and Ni Dwi Adhi Suastuti. 2015. "Efektivitas Lumpur Aktif Dalam Menurunkan Nilai Bod (Biological Oxygen Demand) Dan Cod (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Upt Lab. Analitik Universitas Udayana." *Jurnal Kimia* 9(1): 1–6.

Sa'diyah, Wasiatus, Endang Suarsini, and Ibrohim Ibrohim. 2016. "Effectiveness of Indigenous Lead (Pb) Reducing Bacteria Consortia of Waste Water Treatment in Agar Flour Industry." *The Journal of Experimental Life Sciences* 6(1): 34–37.

Safitri, Ina. 2019. "PEMANTAUAN MIKROORGANISME BAKTERI AEROB UDARA MELAYANG PADA RUANG RAWAT INAP KEMUNING TUBERKULOSIS Dan RUANG ANTURIUM Di RSUP DR. HASAN SADIKIN BANDUNG." *Skripsi*: 1–15. http://repository.unpas.ac.id/43245/1/Ina Safitri_123050003_Teknik Lingkungan.pdf.

Salindra, Balgis Putri, Prehatin Trirahayu Ningrum, and Yunus Ariyanto. 2022. "Analisis Kandungan Timbal (Pb) Pada Aliran Limbah Cair Dan Air Sumur Serta Keluhan Kesehatan Masyarakat." 1305(2021).

Sari, Kurnia. 2016. "Filtrasi, Pengolahan Air Limbah Domestik (Studi Kasus Sungai Playen) Menggunakan Metode Kombinasi Filtrasi Dan Adsorpsi." : 6–30.

Saroj et al. 2022. "Recent Strategies for Bioremediation of Emerging Pollutants: A Review for a Green and Sustainable Environment." *Toxics* 10(8): 1–24.

Satchanska, G. et al. 2005. "Microbial Diversity in Heavy-Metal Polluted Waters." *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 19(3): 61–67.

Shareef, Suzan A., Payman A. Hamasaeed, and Abdulilah S. Ismaeil. 2019. "Sterilization of Culture Media for Microorganisms Using a Microwave Oven Instead of Autoclave." *Rafidain Journal of Science* 28(1): 1–6.

Singh, Pardeep et al. 2019. Abatement of Environmental Pollutants: Trends and Strategies

Bioremediation: A Sustainable Approach for Management of Environmental Contaminants. Elsevier Inc. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00001-1.

SIWI, Z G. 2021. "Uji Toksisitas Limbah Tenun Troso Menggunakan Macrobrachium Rosenbergii Dengan Metode Whole Effluent Toxicity (WET) Diajukan Kepada Universitas Islam …." https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/29255%0Ahttps://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/29255/16513111 Zakia Ganjarrina Siwi.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Standar Nasional Indonesia. 2004. "Air Dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (PH) Dengan Menggunakan Alat PH Meter." *Sni 06-6989.11-2004*: 1–7.

Suharmans. 2023. "Analisis Cemaran Mikroba Dalam Produk Minuman Sari Kedelai Dengan Metode Total Plate Count (TPC)." *Journal of Innovative Food Technology and Agricultural Product* 01(01): 9–13.

Sukoasih, Ami, and Teguh Widiyanto. 2017. "HUBUNGAN ANTARA SUHU, PH DAN BERBAGAI VARIASI JARAK DENGAN KADAR TIMBAL (Pb) PADA BADAN AIR SUNGAI ROMPANG DAN AIR SUMUR GALI INDUSTRI BATIK SOKARAJA TENGAH TAHUN 2016." *Buletin Keslingmas* 36(4): 360–68.

Suparyanto dan Rosad (2015. 2020. "Senyawa Didalam Air Dengan Kadar Besi (Fe)." *Suparyanto dan Rosad (2015* 5(3): 248–53.

SUYUTI, HARYADI. 2019. "PERBANDINGAN METODE ANALISIS LOGAM BERAT KROMIUM DAN TIMBAL MENGGUNAKAN Inductively Coupled Plasma Optical Emision Spectroscopy (ICP OES) Dan Atomic Absorbtion Spectrometry (AAS)." : 5–10.

Taufan, Muhammad, Feliatra Feliatra, and Irwan Effendi. 2022. "OPTIMIZATION OF THE GROWTH MEDIA OF Bacillus Cereus BACTERIA WITH THE ADDITION OF SKIM MILK AND DIFFERENT CARBON SOURCES." *Asian Journal of Aquatic Sciences* 5(1): 138–46.

Temirbekova, Aliya et al. 2023. "Isolation and Characterization of Bacteria with High Electroactive Potential from Poultry Wastewater." *Biology* 12(4): 1–18.

Wahyudi, Agung. 2020. "Analisis Korelasi Rank Spearman." *Jurnal Metode Kunatitatif*: 13.

WARDANI, DEVI ARDELIA. 2018. "Analisa Air Limbah Dengan Parameter Chemical Oxygen Demand Dan Biological Oxygen Demand." *Universitas Internasional Semen Indonesia* (2031810007).

Wayan Budiarsa Suyasa. 2015. "Pencemaran Air & Pengolahan Air Limbah." *Udayana University Press*: 1–153. http://penerbit.unud.ac.id.

Wijayanti, Arum Wulan. 2016. “Pemanfaatan Bakteri Indigenus Dalam Remediasi Limbah Cair Binatu ‘ X ’ Dengan Medium Lumpur Aktif.” 2: 1–16.

Yunita, Merisa et al. 2015. “Analisis Kuantitatif Mikrobiologi Pada Makanan Penerbangan (Aerofood ACS) Garuda Indonesia Berdasarkan TPC (Total Plate Count) Dengan Metode Pour Plate.” *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* 3(3): 237–48.

LAMPIRAN

1.1 Lampiran Hasil Uji pH dan Suhu

Hasil Uji pH K1				
Reaktor	**Hari ke-0**	**Hari ke-4**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
Kontrol	11	9	9	9
Reaktor 1	11	9	9	9
Reaktor 2	11	9	9	9
Reaktor 3	11	9	9	9

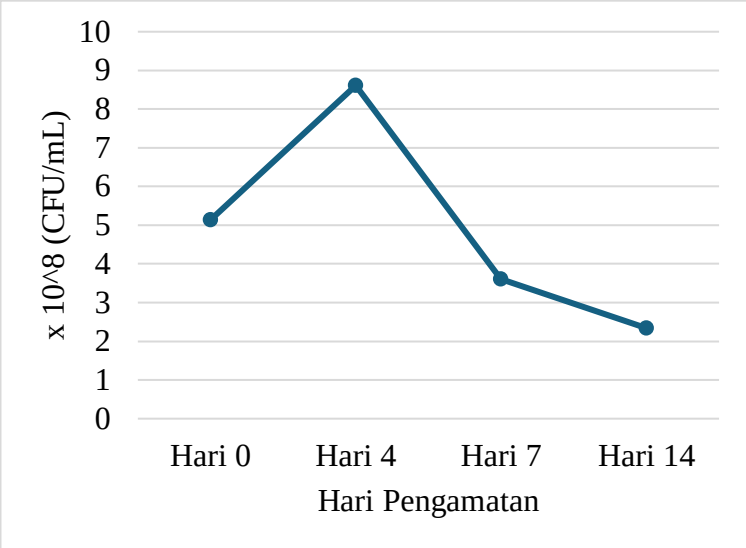
Hasil Uji pH K2				
Reaktor	**Hari ke-0**	**Hari ke-4**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
Kontrol	11	9	9	9
Reaktor 1	11	9	9	9
Reaktor 2	11	9	9	9
Reaktor 3	11	9	9	9

Hasil Uji Suhu K1				
Reaktor	**Hari ke-0**	**Hari ke-4**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
Kontrol	28	28	26	26
Reaktor 1	28	28	26	26
Reaktor 2	28	28	26	26
Reaktor 3	28	28	26	26

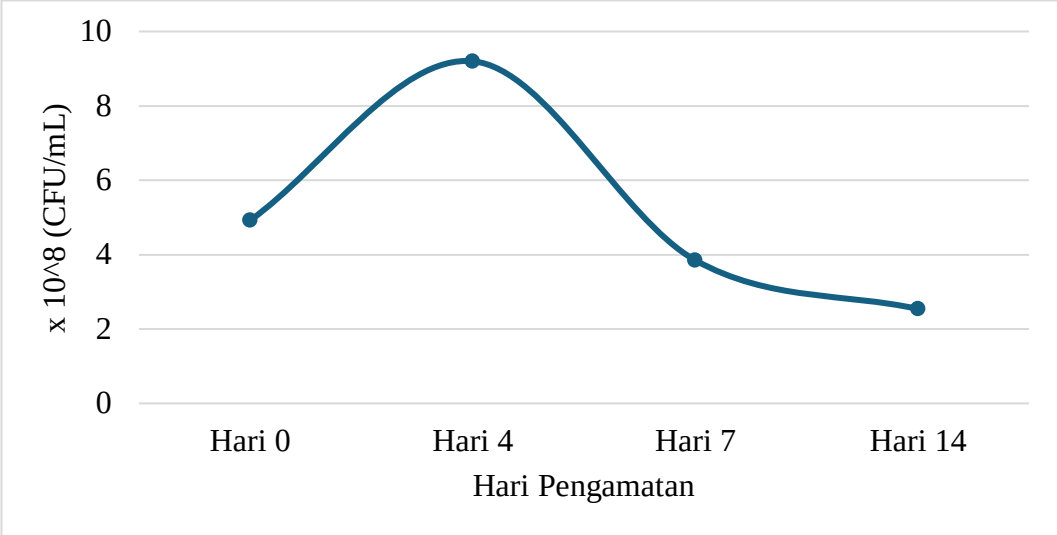
Hasil Uji Suhu K2				
Reaktor	**Hari ke-0**	**Hari ke-4**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
Kontrol	28	28	26	26
Reaktor 1	28	28	26	26
Reaktor 2	28	28	26	26
Reaktor 3	28	28	26	26

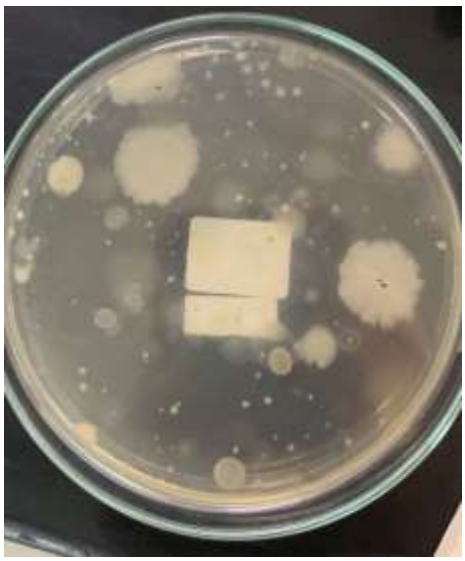
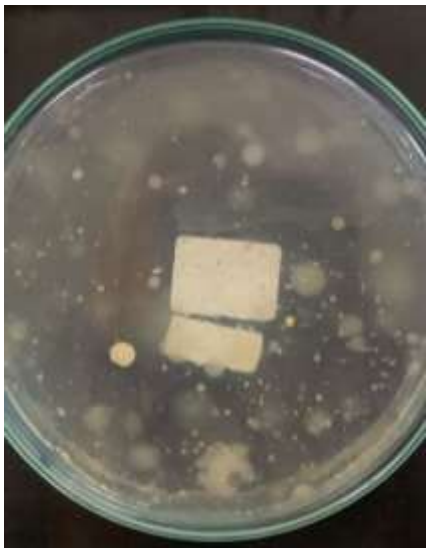
1.2 Lampiran Laju Pertumbuhan Bakteri

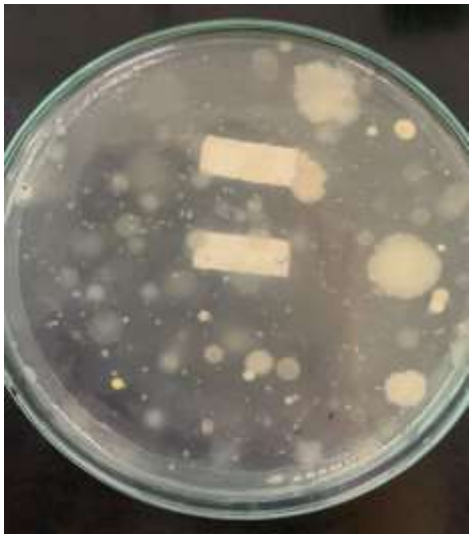
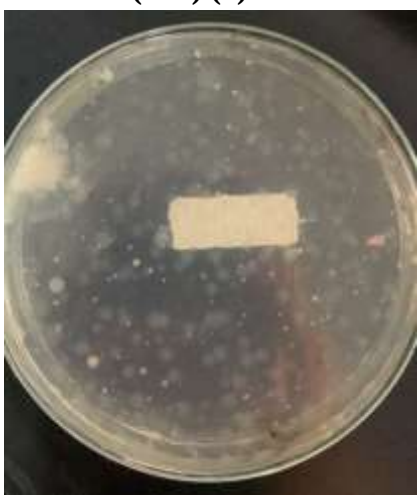
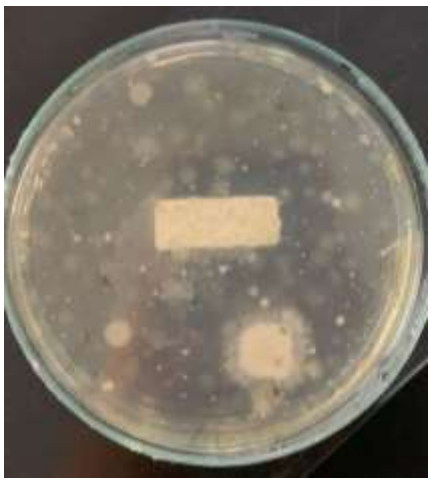
Jumlah Koloni Konsentrasi1 (0,7%) (0,7%)			
No	**Sampel**	**Hari**	**Total Plate Count (CFU/ml)**
1	Reaktor 1	Hari 0	5,14 x 10^8
2	Reaktor 1	Hari 4	8,61 x 10^8
3	Reaktor 1	Hari 7	3,61 x 10^8
4	Reaktor 1	Hari 14	2,34 x 10^8

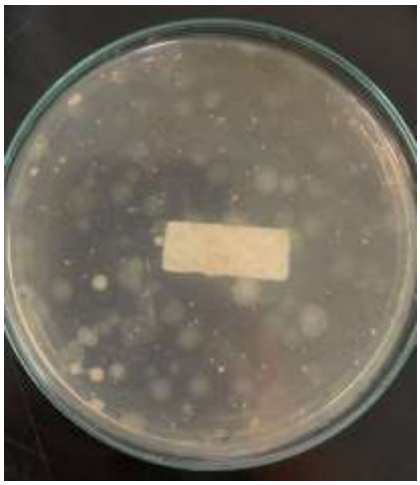
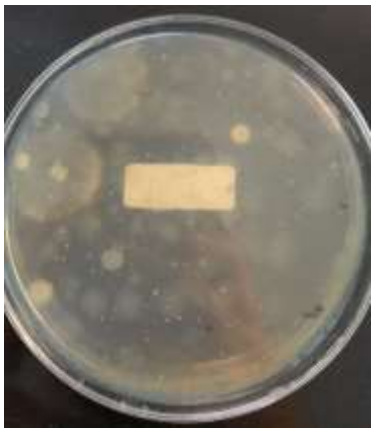
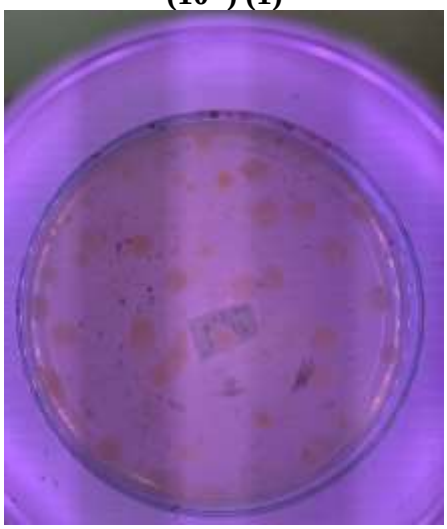
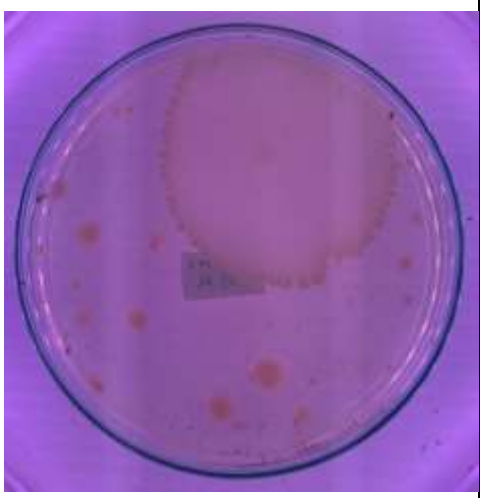


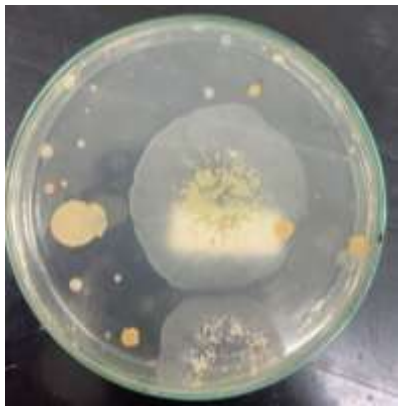
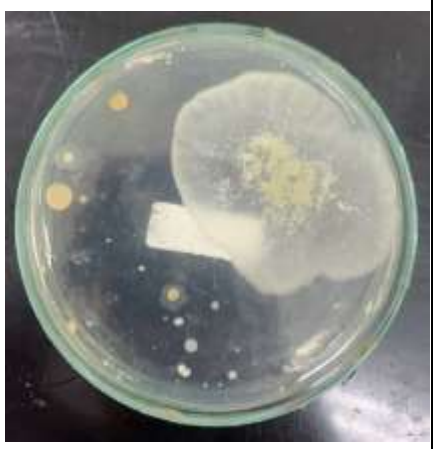
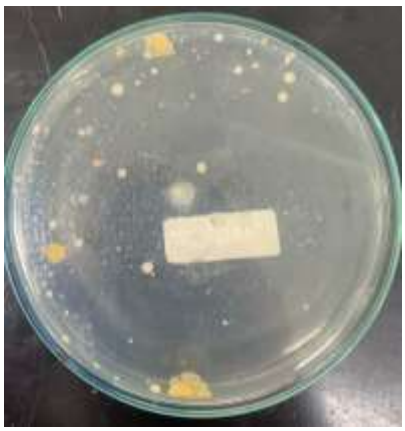
Jumlah Koloni Konsentrasi2 (1%) (1%)			
No	**Sampel**	**Hari**	**Total Plate Count (CFU/ml)**
1	Reaktor 1	Hari 0	4,92 x 10^8
2	Reaktor 1	Hari 4	9,20 x 10^8
3	Reaktor 1	Hari 7	3,85 x 10^8
4	Reaktor 1	Hari 14	2,54 x 10^8

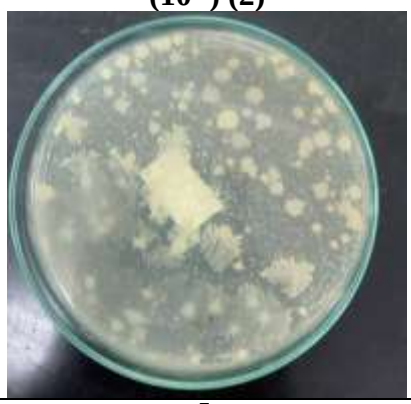


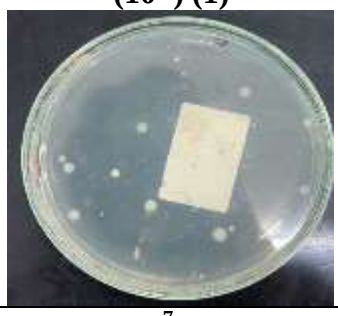
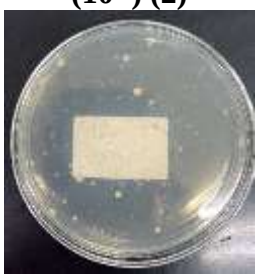
Hasil Pengamatan Pour Plate (Konsentrasi0,7%)	
Hari-0	
(10^{-6}) (1)	**(10^{-6}) (2)**
	

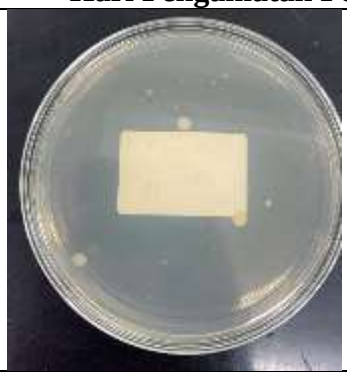
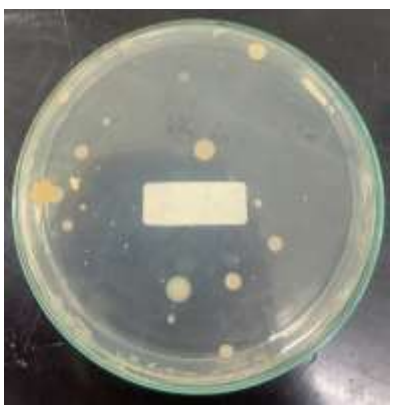
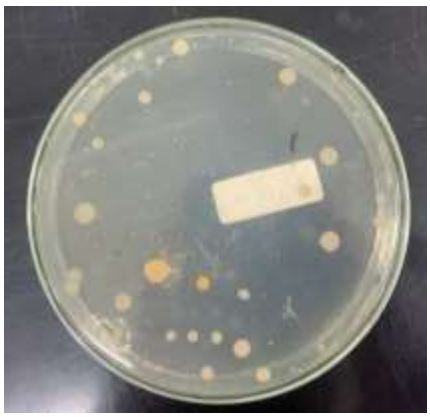
Hasil Pengamatan Pour Plate (Konsentrasi0,7%)	
(10^{-7}) (1)	**(10^{-7}) (2)**
	
Hari-4	
(10^{-6}) (1)	**(10^{-6}) (2)**
	

<table>
<tr><th colspan="2">Hasil Pengamatan Pour Plate (Konsentrasi0,7%)</th></tr>
<tr><td>(10^{-7}) (1)
</td><td>(10^{-7}) (2)
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Hari ke-7</th></tr>
<tr><td>(10^{-6}) (1)
</td><td>(10^{-6}) (2)
</td></tr>
<tr><td>(10^{-7}) (1)
</td><td>(10^{-7}) (2)
</td></tr>
</table>

Hasil Pengamatan Pour Plate (Konsentrasi0,7%)	
Hari-14	
10^{-6} (1) 	**10^{-6} (2)** 
10^{-7} (1) 	**10^{-7} (2)** 

Hari Pengamatan Pour Plate (konsentrasi1 (0,7%)%)	
Hari-0	
(10^{-6}) (1) 	**(10^{-6}) (2)** 
(10^{-7}) (1)	**(10^{-7}) (2)**

Hari Pengamatan Pour Plate (konsentrasi1 (0,7%)%)	
	
Hari-4	
(10^{-6}) (1) 	**(10^{-6}) (2)** 
(10^{-7}) (1) 	**(10^{-7}) (2)** 
Hari-7	
(10^{-6}) (1) 	**(10^{-6}) (2)** 
(10^{-7}) (1)	**(10^{-7}) (2)**

Hari Pengamatan Pour Plate (konsentrasi1 (0,7%)%)	
	
Hari-14	
10^{-6}(1) 	**10^{-6}(2)** 
10^{-7}(1) 	**10^{-7}(2)** 

1.3 Lampiran Hasil Uji Logam (Pb)

Data KonsentrasiPb (0,7%)					
Hari 0					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengencer an**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,2054	0,0087	0,21		0,21
Reaktor 1	1,2169	0,0438	1,22		1,22
Reaktor 2	0,0365	0,0028	0,04		0,04
Reaktor 3	0,0865	0,0046	0,09		0,09
Rata-rata					**0,39**

Data KonsentrasiPb (0,7%)					
Hari 4					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengence ran**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,516	0,0195	0,52		0,52
Reaktor 1	0,2275	0,0095	0,23		0,23
Reaktor 2	0,1583	0,0071	0,16		0,16
Reaktor 3	0,1919	0,0082	0,19		0,19
Rata-rata					**0,27**

Data KonsentrasiPb (0,7%)					
Hari 7					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengence ran**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,1131	0,0055	0,11		0,11
Reaktor 1	0,1323	0,0062	0,13		0,13
Reaktor 2	0,1813	0,0079	0,18		0,18
Reaktor 3	0,1631	0,0072	0,16		0,16
Rata-rata					**0,15**

Data KonsentrasiPb (1%)					
Hari 0					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengenceran**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,09	0,0047	0,09		0,09
Reaktor 1	0,8833	0,0322	0,88		0,88
Reaktor 2	0,1669	0,0075	0,17		0,17
Reaktor 3	0,1304	0,0061	0,13		0,13
Rata-rata					**0,32**

Data KonsentrasiPb (1%)					
Hari 4					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengenceran**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,1477	0,0067	0,15		0,15
Reaktor 1	0,141	0,0065	0,14		0,14
Reaktor 2	0,1092	0,0054	0,11		0,11
Reaktor 3	0,2304	0,0096	0,23		0,23
Rata-rata					**0,16**

Data KonsentrasiPb (1%)					
Hari 7					
Sample Label	**Conc (µg/ml) (x)**	**Mean Abs (y)**	**Hasil Akhir**	**faktor pengenceran**	**Konsentrasilogam Pb (mg/L)**
Blanko	0,2112	0,0089	0,21	1	0,21
Kontrol	0,1	0,0052	0,10		0,10
Reaktor 1	0,1467	0,0064	0,14		0,14
Reaktor 2	0,1534	0,0067	0,15		0,15
Reaktor 3	0,1679	0,0074	0,17		0,17
Rata-rata					**0,14**

1.4 Lampiran Hasil Uji *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Uji *Biological Oxygen Demand* (BOD) Konsentrasti 0,7%						
Reaktor	**Hari ke -0**		**Hari ke-7**		**Hari ke-14**	
	DO 0	**DO 5**	**DO 0**	**DO 5**	**DO 0**	**DO 5**
Blanko	8,62	6,82	8,62	6,82	8,62	6,82
Kontrol	10,06	5,39	10,06	7,18	9,70	7,18
1	9,34	5,03	9,34	6,82	10,06	7,54
2	8,98	4,31	8,62	6,47	9,70	7,54
3	9,34	5,75	8,98	6,47	7,18	5,03

Uji *Biological Oxygen Demand* (BOD) Konsentrasti 0,7%			
Reaktor	**Hari ke -0**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
	BOD	**BOD**	**BOD**
Kontrol	287,35	107,76	71,84
Reaktor 1	251,43	71,84	71,84
Reaktor 2	287,35	35,92	35,92
Reaktor 3	179,59	71,84	35,92

Uji *Biological Oxygen Demand* (BOD) Konsentrasti 1%						
Reaktor	**Hari ke -0**		**Hari ke-7**		**Hari ke-14**	
	DO 0	**DO 5**	**DO 0**	**DO 5**	**DO 0**	**DO 5**
Blanko	8,62	6,82	8,62	6,82	8,62	6,82
Kontrol	9,70	9,34	10,42	9,70	8,98	6,82
1	7,18	6,47	9,34	8,26	7,18	4,67
2	9,70	9,34	8,98	8,26	8,98	6,47
3	8,98	8,26	8,62	7,18	8,98	6,82

Uji *Biological Oxygen Demand* (BOD) Konsentrasti 0,7%			
Reaktor	**Hari ke -0**	**Hari ke-7**	**Hari ke-14**
	BOD	**BOD**	**BOD**
Kontrol	287,35	107,76	71,84
Reaktor 1	251,43	71,84	71,84
Reaktor 2	287,35	35,92	35,92
Reaktor 3	179,59	71,84	35,92

1.5 Lampiran Hasil Uji *Chemical Oxyegen Demand* (COD)

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasti 0,7%					
Hari-0					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	205,45
Kontrol	562,908	0,157	563,339		28167,0
Reaktor 1	659,249	0,183	657,146		32857,3
Reaktor 2	507,479	0,141	505,612		25280,6
Reaktor 3	544,431	0,152	545,300		27265,0
Rata-rata					**28392,5**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasti 0,7%					
Hari-4					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	172,791	0,048	170,07		8503,71
Reaktor 1	146,748	0,085	303,57		15178,39
Reaktor 2	148,508	0,058	206,15		10307,68
Reaktor 3	131,351	0,069	245,84		12292,04
Rata-rata					**11570,46**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasti 0,7%					
Hari-7					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	129,152	0,036	126,78		6338,95
Reaktor 1	146,748	0,041	144,82		7240,93
Reaktor 2	148,508	0,042	148,43		7421,33
Reaktor 3	131,351	0,037	130,39		6519,34
Rata-rata					**6880,1**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasti 0,7%					
Hari-14					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	467446	0,13	465,93	50	465,93
Kontrol	116,00	0,033	115,96		5797,76

Reaktor 1	105,20	0,03	105,13		5256,56
Reaktor 2	109,37	0,031	108,74		5436,96
Reaktor 3	112,50	0,032	112,35		5617,36
Rata-rata					**5527,2**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasi1 (0,7%)%					
Hari-0					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11		4,109039888
Kontrol	473,693	0,132	473,14		23652,94
Reaktor 1	259,455	0,073	260,27	50	13009,52
Reaktor 2	196,547	0,055	195,33		9762,38
Reaktor 3	339,519	0,095	339,65		16978,25
Rata-rata					**15850,77**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasi1 (0,7%)%					
Hari-4					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11		4,11
Kontrol	244,409	0,068	242,23		12107,54
Reaktor 1	406,738	0,113	404,59	50	20225,40
Reaktor 2	333,712	0,093	332,43		16617,46
Reaktor 3	204,817	0,057	202,55		10123,17
Rata-rata					**14768,39**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasi1 (0,7%)%					
Hari-7					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11		4,11
Kontrol	273,18	0,076	271,10		13550,71
Reaktor 1	197,075	0,055	195,33	50	9762,38
Reaktor 2	196,547	0,055	195,33		9762,38
Reaktor 3	153,963	0,043	152,03		7597,61
Rata-rata					**10168,27**

Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD) Konsentrasi1 (0,7%)%					
Hari-14					
Reaktor	Conc	Abs	Hasil pengukuran Konsentrasi(mg/L)	Faktor Pegenceran	Konsentrasi (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	243,10	0,068	242,23		12107,54
Reaktor 1	188,30	0,053	188,11		9401,58
Reaktor 2	132,847	0,037	130,39		6515,23
Reaktor 3	134,26	0,038	133,99		6695,63
Rata-rata					**8680,00**

1.6 Hasil Analisis Statistik Data Kandungan Logam Pb

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi Logam Pb							
K1 (0,7%)	4	0,29	0,16	0,45	0,2475	0,06787	0,13574
K2 (1%)	4	0,73	0,15	0,88	0,3500	0,17715	0,35431

1.7 Hasil Analisis Statistik Data Kandungan BOD

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi BOD							
K1 (0,7%)	3	191,00	48,00	239,00	115,66	61,7638	106,978
K2 (1%)	3	72,12	53,88	126,00	86,96	21,0314	36,427

1.8 Hasil Analisis Statistik Data Kandungan COD

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi COD							
K1 (0,7%)	4	23031	5437	28468	13389,75	5254,266	10508,532
K2 (1%)	4	8118	7537	15655	11370,75	1871,090	3742,180

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

RIWAYAT HIDUP

Dwita Sari Fathina merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir. Penulis lahir di Sleman pada tanggal 09 Oktober 2002 dan merupakan anak kedua dari Bapak Udi Murtoto dan Ibu Sri Sukemi Ningsih. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD IT Ahmad Dahlan Kota Jambi, melanjutkan ke SMP Negeri 11 Kota Jambi, dan SMA Negeri 3 Kota Jambi, sebelum akhirnya melanjutkan studi strata-1 (S-1) di program studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non-akademik. Di bidang akademik, penulis menjadi asisten praktikum Pengantar Teknik Lingkungan II pada tahun 2023, asisten Summer Internship Programme tahun 2023, dan asisten praktikum kimia lingkungan tahun 2024. Di bidang non-akademik, penulis terlibat dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi kemahasiswaan, termasuk menjadi Sekretaris 1 pada Enviro Champion 2021, staf divisi transportasi, komunikasi, dan perizinan pada Lintas Lingkungan 2022, serta menjabat sebagai Sekretaris 2 di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) periode 2021-2022.