

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS ISOLAT BAKTERI *INDIGENOUS* DARI TANAH TPA PIYUNGAN UNTUK BIOREMEDIASI LOGAM KADMIUM (Cd) PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

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



TASYA AMELIA MIRTASARI

20513057

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

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS ISOLAT BAKTERI *INDIGENOUS* DARI TANAH TPA PIYUNGAN UNTUK BIOREMEDIASI LOGAM KADMIUM (Cd) PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

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



TASYA AMELIA MIRTASARI
20513057

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Annisa Nur Lathifah, S.Si.,
M.Biotech., M.Agr., Ph.D.
NIK. 155130505

Tanggal: 16-08-2024

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

NIK. 165131306

Tanggal:



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

**EFEKTIVITAS ISOLAT BAKTERI *INDIGENOUS*
DARI TANAH TPA PIYUNGAN UNTUK
BIOREMEDIASI LOGAM KADMIUM (Cd) PADA AIR
LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari :

Tanggal :

Disusun Oleh:

TASYA AMELIA MIRTASARI

20513057

Tim Penguji:

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



16 08.2024

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



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



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Tulisan ini merupakan hasil orisinil dan belum pernah diajukan untuk tujuan mendapatkan gelar akademik di Universitas Islam Indonesia atau lembaga pendidikan tinggi lainnya.
2. Karya ini merupakan produk dari pemikiran, perumusan, dan penelitian saya sendiri, dengan panduan dan bimbingan dari Dosen Pembimbing, tanpa melibatkan pihak lain.
3. Dalam tulisan ini, tidak ada penggunaan karya atau pandangan orang lain kecuali jika diakui secara jelas dalam teks dengan menyebutkan nama penulisnya dan mengikutsertakannya dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di masa mendatang terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 24 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Tasya Amelia Mirtasari

NIM: 20513057

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Efektivitas Isolat Bakteri *Indigenous* dari Tanah TPA Piyungan Untuk Bioremediasi Logam Kadmium (Cd) Pada Air Limbah Industri Tekstil” dengan baik.

Pada kesempatan kali ini, saya sebagai penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, mendukung, serta mendoakan saya dalam penyusunan tugas akhir ini, yakni kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Bapak Triwanto dan Ibu Nurainy Marwati selaku orang tua penulis serta Kakak Terry Inderakesuma yang selalu memberikan dukungan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
3. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai;
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dan memberikan arahan, kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini;
5. Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini
6. Mbak Rina Isnika, S.Si. dan Mas Bagus Dwi, A.Md.Si. selaku laboran yang telah membimbing penulis saat melakukan penelitian;

7. Para dosen, pengajar, dan laboran yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia;
8. Alfian Rayhan Putra yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang telah menemani, mendukung, membantu dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir ini;
9. Teman-teman terbaik penulis “PaPeDa” (Sari, Diva, dan Fayza) dan “anpol” (Bethari, Dilla, Videl, Tika, Vanny, Tama, Tio, dan Puja) yang selama ini senantiasa menemani, menghibur, mendukung, dan membantu penulis selama masa perkuliahan sampai dengan tersusunnya tugas akhir ini;
10. Teman-teman Angkatan 2020 yang sudah membantu dalam masa perkuliahan berlangsung.

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

Akhir kata, penulis meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat ucapan maupun perbuatan penulis yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 24 Juni 2024

Tasya Amelia Mirtasari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

TASYA AMELIA MIRTASARI. Efektivitas Isolat Bakteri *Indigenous* Dari Tanah TPA Piyungan Untuk Bioremediasi Logam Kadmium (Cd) 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.

Industri tekstil menghasilkan air limbah yang mengandung berbagai kontaminan, salah satunya adalah logam berat seperti Kadmium (Cd), yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas isolat bakteri indigenous dari tanah TPA Piyungan dalam menurunkan kadar logam Kadmium (Cd), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah industri tekstil di Desa Troso, Jepara. Penelitian ini menggunakan dua konsentrasi bakteri, yaitu 0,5% dan 0,9%, kedua bakteri tersebut ditumbuhkan pada media *Nutrient Agar* (NA) dan menggunakan metode *pour plate* untuk dilakukan perhitungan koloni, sedangkan untuk logam menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri indigenous dengan konsentrasi 0,5% mampu menurunkan kadar logam Cd sebesar 55%, BOD sebesar 90%, dan COD sebesar 73%. Sedangkan pada konsentrasi 0,9%, penurunan kadar logam Cd mencapai 63%, BOD sebesar 89%, dan COD sebesar 75%. Penggunaan bakteri indigenous ini dapat menjadi solusi potensial untuk mengurangi pencemaran logam berat dalam air limbah industri, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Kata kunci: Bakteri *Indigenous*, Bioremediasi, Logam Kadmium (Cd), Limbah Tekstil

ABSTRACT

TASYA AMELIA MIRTASARI. Effectiveness of Indigenous Bacterial Isolates from Piyungan Landfill Soil to Bioremediation of Cadmium Metal (Cd) in Textile Industry Wastewater. Supervised by Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D dan Dr, Joni Aldilla Fajri., S.T., M.Eng.

The textile industry produces wastewater that contains various contaminants, one of which is heavy metals such as Cadmium (Cd), which has the potential to pollute the environment. This research aims to analyze the effectiveness of indigenous bacterial isolates from Piyungan landfill soil in reducing levels of the metal Cadmium (Cd), Biochemical Oxygen Demand (BOD), and Chemical Oxygen Demand (COD) in textile industry wastewater in Troso Village, Jepara. This research used two concentrations of bacteria, namely 0.5% and 0.9%, both bacteria were grown on Nutrient Agar (NA) media and used the pour plate method to count colonies, while for metals the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method was used. . The research results showed that indigenous bacteria with a concentration of 0.5% were able to reduce Cd metal levels by 55%, BOD by 90%, and COD by 73%. Meanwhile, at a concentration of 0.9%, the reduction in Cd metal levels reached 63%, BOD by 89%, and COD by 75%. The use of indigenous bacteria can be a potential solution to reduce heavy metal pollution in industrial wastewater, thereby reducing negative impacts on the environment and public health.

Keywords: Bacteria, Bioremediation, Cadmium Metal (Cd), Textile Wastewater

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

PRAKATA	5
ABSTRAK	8
ABSTRACT	9
DAFTAR ISI	11
DAFTAR GAMBAR	14
DAFTAR TABEL	16
BAB I PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang	18
1.2 Rumusan Masalah	21
1.3 Tujuan Penelitian	21
1.4 Manfaat Penelitian	21
1.6 Ruang Lingkup	21
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	23
2.1 Limbah Industri Tekstil Troso	23
2.2 Logam Berat Kadmium (Cd)	24
2.3 Bakteri Indigenous dari Tanah TPA Piyungan	25
2.4 Bioremediasi Logam	26
2.4.1 Mekanisme Penurunan Logam Oleh Mikroorganisme	26
2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi	28
2.5 Parameter Uji Air Limbah	29
2.6 Penelitian Sebelumnya	31
BAB III METODE PENELITIAN	35

3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	35
3.2	Variabel Penelitian	35
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	36
3.4	Alat dan Bahan	37
3.5	Sampel Air Limbah	38
3.6	Prosedur Analisis pada Air Limbah	38
3.6.1	Pengujian Logam Kadmium pada Air Limbah	38
3.6.2	Pengujian <i>Dissolve Oxygen</i> (DO) pada Air Limbah	39
3.6.3	Pengujian <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD) pada Air Limbah.....	42
3.6.3	Pengujian <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) pada Air Limbah	43
3.7	Prosedur Analisis pada Bakteri	44
3.7.1	Pembuatan Media	46
3.7.2	Kulturasasi Bakteri.....	46
3.7.3	Pembuatan Reaktor dan Running Reaktor	47
3.7.4	Pertumbuhan Bakteri <i>Indigenous</i>	48
3.8	Analisis Data Penelitian	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Karakteristik Sampel <i>Pure</i>	53
4.2	Pertumbuhan Bakteri menggunakan <i>Total Plate Count</i> (TPC).....	54
4.3	Hasil Uji Bioremediasi.....	58
4.3.1	Analisis Kandungan Logam Cd Setelah Bioremediasi	58
4.3.2	Analisis BOD dan COD Setelah Bioremediasi	63
4.3.3	Analisis pH dan Suhu Setelah Bioremediasi.....	69

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.1 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	82
RIWAYAT HIDUP	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berpikir	20
Gambar 2.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	29
Gambar 3.1 Peta Lokasi pengambilan sampel air limbah.....	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Logam	39
Gambar 3.4 Diagram Alir Standarisasi Larutan Thiosulfat	40
Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Pengujian DO.....	41
Gambar 3.6 Diagram Alir Prosedur Pengambilan Sampel Uji BOD.....	42
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengujia COD Tinggi	43
Gambar 3.8 Diagram Alir Pengujia COD Rendah.....	44
Gambar 3.9 Bakteri <i>Indigenous</i> dari Tanah TPA Piyungan	45
Gambar 3.10 Diagram Alir Kulturasasi Bakteri	47
Gambar 3.11 Desain reaktor	48
Gambar 3.12 Diagram Alir Pembuatan Media <i>Nutrient Agar</i>	49
Gambar 3.13 Diagram Alir Proses Pengenceran.....	50
Gambar 3.14 Diagram Alir <i>Pour Plate</i>	50
Gambar 4.1 Grafik Penurunan Logam Cd K1 (0,5%)	59
Gambar 4.2 Grafik Penurunan Logam Cd K2 (0,9%)	60
Gambar 4.3 Perbandingan Efisiensi Removal Logam Cd	61
Gambar 4.4 Grafik Penurunan BOD dan COD K1 (0,5%).....	63
Gambar 4.5 Grafik Penurunan BOD dan COD K2 (0,9%).....	65
Gambar 4.6 Efisiensi Removal BOD dan COD oleh Bakteri <i>Indigenous</i>	66

Gambar 4.7 Grafik Pengujian pH K1 dan K2	69
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Suhu K1 dan K2.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Terkait Bioremediasi Logam.....	31
Tabel 3.1 Alat dan Bahan.....	37
Tabel 3.2 Metode Pengujian	38
Tabel 3.3 Karakterisasi Bakteri <i>Indigenous</i> dari tanah TPA Piyungan	45
Tabel 3.4 Komposisi Reaktor K1 (0,5%).....	48
Tabel 3.5 Komposisi Reaktor K2 (0,9%).....	48
Tabel 4.1 Karakteristik dan Komposisi Air Limbah <i>Pure</i>	53
Tabel 4.2 Jumlah Koloni Bakteri K1 (0,5%)	55
Tabel 4.3 Jumlah Koloni Bakteri K2 (0,9%)	57
Tabel 4.4 Korelasi antara TPC dan Logam Cd K1 (0,5%)	61
Tabel 4.5 Korelasi antara TPC dan Logam Cd K2 (0,9%)	62
Tabel 4.6 Korelasi antara TPC dan BOD K1 (0,5%).....	67
Tabel 4.7 Korelasi antara TPC dan BOD K2 (0,9%).....	67
Tabel 4.8 Korelasi antara TPC dan COD K1 (0,5%).....	68
Tabel 4.9 Korelasi antara TPC dan COD K2 (0,9%).....	68

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, pertumbuhan industri semakin meningkat mulai dari industri rumahan hingga industri manufaktur. Setiap industri pastinya akan menghasilkan air limbah dengan kandungan pencemar yang beragam. Salah satunya adalah industri tekstil yang memiliki kandungan logam berat pada air limbah sisa proses produksinya. Pada industri tekstil di Jepara tepatnya di Desa Troso, air limbah sisa proses produksi di buang ke selokan atau sungai di sekitar lokasi tersebut. Pembuangan limbah ke badan air tentunya dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air yang ada. Kegiatan proses produksi yang menggunakan campuran bahan kimia untuk pewarnaan kain tekstil mengakibatkan air limbah mengandung logam berat berupa Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Kromium (Cr), dan Tembaga (Cu). Logam berat dengan toksisitas tinggi dihasilkan oleh aktivitas industri dan antropogenik (Cao *et al*, 2019). Tingginya konsentrasi logam berat di lingkungan merupakan salah satu sumber pencemaran dan masalah lingkungan yang dapat memicu masalah ekologi di kemudian hari. (Chovanova, *et al.*, 2004).

Industri tekstil di Desa Troso Kabupaten Jepara ini menghasilkan air limbah sisa proses produksinya yang mengandung logam berat, salah satunya adalah logam Kadmium (Cd). Logam kadmium berasal dari pewarna bahan kimia yang digunakan untuk memberi warna pada kain tekstil. Dalam tahap pewarnaan, hanya sekitar 5% zat warna yang dimanfaatkan, sementara sisanya menjadi limbah. Jenis pewarna sintetis yang sering digunakan dalam pembuatan produk tekstil adalah indigisol, naptol, procion, dan remazol yang memiliki ciri khas masing-masing. Logam berat yang terkandung dalam pewarna sintetis bertujuan untuk meningkatkan ketajaman warna agar dapat melekat ke serat kain. Kontaminasi kadmium (Cd) paling utama berasal dari pembuangan limbah industri sebab mengandung kadar logam berat yang lebih tinggi daripada sumber pencemar lainnya. Selain itu, kadmium mencemari lingkungan melalui pemukiman penduduk dan aktivitas manusia yang menggunakan dan membuat produk industri (Sutrisno

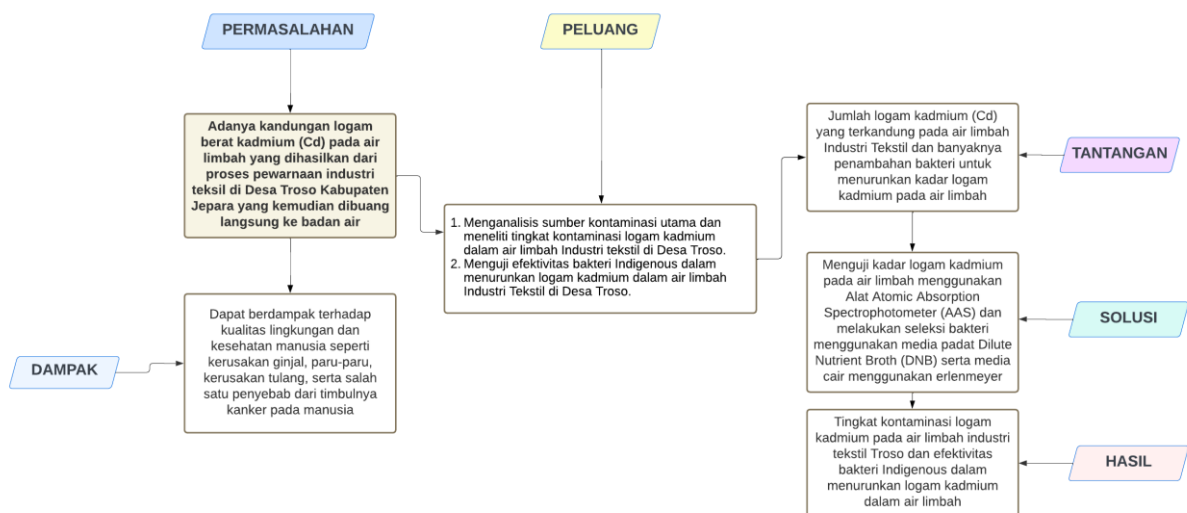
dan Kuntastyuti, 2015). Kadmium merupakan logam berat sangat berbahaya karena memiliki tingkat racun yang tinggi serta berbahaya, jenis logam ini juga tidak dapat terurai secara alami (Nies, 2003).

Dalam mengurangi kadar logam berat kadmium dapat digunakan alternatif remediasi yaitu dengan pendekatan mikrobiologis yang dianggap sebagai rekayasa yang sangat menjanjikan dari segi teknis dan ekonomis (Malik, 2004). Upaya tersebut dapat dilakukan dengan teknik bioremediasi yaitu, penggunaan agen biologis yang bertujuan untuk mengubah unsur-unsur tercemar menjadi zat-zat yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Agen biologis dapat berupa mikroba, fungi, enzim, dan alga (Waluyo, 2005). Bioremediasi bisa dilakukan dengan memanfaatkan bakteri indigenous atau ditingkatkan dengan menambahkan bakteri yang lain (Zahoor & Rehman, 2009). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa bakteri indigenous telah terbukti efektif dalam mengurangi kadar logam berat, terutama dalam limbah industri. Mikroorganisme seperti *Bacillus*, *Citrobacter*, *Pseudomonas*, *Plectonema*, *Saccharomyces*, dan *Aspergillus* dapat dimanfaatkan sebagai agen pengurangan pencemaran lingkungan dari kandungan logam yang ada (Park *et al.*, 2011). Bakteri *Indigenous* dapat diperoleh dari lingkungan yang tercemar polutan untuk mendapatkan mikroba yang mampu menghancurkan berbagai jenis polutan (Putri, 2017). Penelitian yang melibatkan bakteri sebagai agen bioremediasi menunjukkan bahwa bakteri dengan karakteristik tertentu dapat mereduksi kadar logam pada zat pencemar lingkungan seperti air limbah. Tingkat efisiensi bakteri dalam mengurangi kadar logam dapat dilihat dari sumber utama pencemar logam kadmium tersebut (Sutrisno & Kuntastyuti, 2015).

Berdasarkan studi penelitian yang dilakukan oleh Wijayanti dan Lestari (2017) menunjukkan bahwa *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* adalah bakteri yang dapat menurunkan kadar logam kadmium serta menurunkan kadar COD, BOD, dan juga dapat meningkatkan kadar DO. Bakteri memiliki resistensi dan toleransi terhadap logam, sehingga bakteri yang diambil dari lingkungan yang terkontaminasi logam berat memiliki potensi besar sebagai agen bioremediasi. Kapabilitas bakteri *indigenous* dalam menurunkan kadar logam kadmium mampu

dimanfaatkan oleh bakteri sebagai salah satu unsur yang bermanfaat bagi kelangsungan hidupnya. Kekuatan bakteri dalam mengatasi keberadaan logam kadmium dikarenakan bakteri tersebut dapat menghasilkan protein yang dapat mengikat logam kadmium dalam suatu sel (Hassen, *et al*, 1998).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Riyadi (2023) tentang Potensi Bakteri *Indigenous* Dari Tanah TPA Piyungan Untuk Bioremediasi Larutan Logam Kadmium (Cd). Seperti yang dibahas pada penelitian tersebut, bakteri indigenous dari Tanah TPA Piyungan memiliki kemampuan sebagai sarana bioremediasi yang efektif untuk meremediasi logam *artificial*. Dari hasil penelitian menyebutkan bahwa 2 ppm konsentrasi bakteri dapat menurunkan 1,4 ppm logam dan 12 ppm bakteri dapat menurunkan kadar logam sebesar 7,8 ppm. Sehingga pada penelitian kali ini menggunakan isolasi bakteri indigen dari tanah TPA Piyungan yang akan digunakan sebagai agen bioremediasi untuk menurunkan kandungan logam berat kadmium (Cd) pada air limbah sisa proses Industri Tekstil di Desa Troso Jepara.



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa hasil penurunan kandungan logam Cd, BOD, dan COD yang terkandung dalam air limbah sisa proses industri tekstil di Desa Troso setelah dilakukan bioremediasi?
2. Bagaimana efektivitas bakteri *indigenous* dalam menurunkan logam Cd, BOD, dan COD pada air limbah sisa proses industri tekstil di Desa Troso?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis hasil penurunan kandungan logam Cd, BOD, dan COD pada air limbah sisa proses industri Tekstil Desa Troso.
2. Mengidentifikasi efektivitas bakteri *indigenous* dalam menurunkan logam kadmium dalam air limbah sisa proses Industri tekstil di Desa Troso.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai pengalaman serta wawasan dalam melakukan penelitian terkait bioremediasi logam kadmium menggunakan bakteri *indigenous*.
2. Sebagai studi literatur serta referensi terkait bioremediasi logam kadmium dan upaya untuk menurunkan kandungan logam pada air limbah.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian adalah:

1. Pengambilan sampel pada penelitian ini berlokasi di Industri Tekstil Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara.
2. Menggunakan metode Grab Sampling untuk pengambilan sampel.
3. Penelitian ini menguji kemampuan bakteri *indigenous* dalam menurunkan kadar logam kadmium dan dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Tekstil Troso

Limbah tekstil di Desa Troso merupakan limbah cair hasil dari proses pewarnaan menggunakan zat kimia dari produksi kain tenun. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pewarnaan industri tenun terdiri dari bahan pewarna yang dapat diserap oleh serat tekstil dan senyawa kimia sintetis. Pada proses pewarnaan industri tenun, zat pewarna yang digunakan mengangsur logam kadmium, timbal, dan tembaga (Eskani *et al.*, 2015). Kualitas limbah cair ini sangat dipengaruhi oleh jenis proses yang diterapkan, sehingga umumnya limbah bersifat basa dan mengandung zat organik dengan konsentrasi yang tinggi (Kasam *et al.*, 2009). Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh pengrajin tenun di Desa Troso dapat membahayakan ekosistem sungai, terutama menyebabkan kematian hewan, seperti yang ditunjukkan oleh perubahan perilaku gerak, ketidakseimbangan tubuh, dan perubahan warna pada tubuh hewan (Asrori, 2016).

Proses produksi industri tekstil menghasilkan 80% atau sekitar 883 ton air limbah organik per hari, air limbah dari industri tekstil berkontribusi sebesar 29% terhadap pencemaran air limbah organik di Indonesia, dengan kadar tinggi dan fluktuasi kandungan bahan toksik, pH, suhu, kekeruhan, dan salinitas (Rusydi *et al.*, 2016). Terdapat banyak kandungan yang dapat menyebabkan pencemaran air termasuk minyak, bahan organik, padatan tersuspensi, dan kandungan logam berat berbahaya seperti kadmium (Cd), Timbal (Pb), Seng (Zn), Tembaga (Cu), dan Kromium (Cr) (Nurdalia, 2006).

Limbah cair umumnya berasal dari aktivitas manusia dan dapat mengandung zat-zat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan, seperti yang dinyatakan dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 32 tahun 2009. Limbah cair yang dibuang industri akan mengalir melalui perairan di sekitar pemukiman. Oleh karena itu, kualitas lingkungan tempat tinggal penduduk berkurang. Limbah dapat meningkatkan kandungan organik seperti

COD, BOD, dan pH. Jika kandungan ini melampaui ambang batas yang diizinkan, gejala yang paling umum adalah kematian organisme perairan (Al-kdasi, 2004).

2.2 Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat adalah kontaminan lingkungan yang signifikan dan menjadi masalah serius saat ini. Akibat akumulasi di lingkungan dan sepanjang rantai makanan, keberadaan logam berat dalam jangka waktu yang lama dapat berbahaya bagi kesehatan (Mkumbo, 2012). Menurut Komarawidjaja (2017) proses perwarnaan kain adalah sumber limbah logam berat yang paling umum dihasilkan dari industri tekstil. Proses ini juga menghasilkan kandungan logam seperti seng (Zn), timbal (Pb), Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), dan krom (Cr).

Logam kadmium (Cd) memiliki nomor atom 48 dan massa atom 112,4. Tabel periodik menunjukkan bahwa logam kadmium termasuk logam transisi dengan periode V. Dikenal sebagai unsur *chalcophile*, logam Cd biasanya ditemukan dalam deposit sulfide (Manahan, 2001). Kadmium berasal dari pengolahan logam seng (Zn) dan sering digunakan sebagai pengganti seng, kadmium sendiri tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia dan apabila terakumulasi dalam jumlah yang signifikan maka akan bersifat toksik pada tubuh (Dewa *et al*, 2015).

Logam berat kadmium terkandung dalam zat warna tekstil dan merupakan bagian dari batu baterai. Kadmium sendiri adalah salah satu kandungan pencemar yang ada dalam limbah industri tekstil di Indonesia (Darmono, 1995). Konsentrasi kadmium dalam jumlah tertentu pada badan air dapat menyebabkan kerusakan ekosistem perairan. Kadmium dapat menyebabkan keracunan pada ikan dengan kadar lebih dari 200 g/L. Hal ini terjadi karena logam kadmium dilalui oleh berbagai makhluk seperti manusia, hewan, dan tumbuhan, dan menyebabkan proses biotransformasi dan bioakumulasi (Palar, 2008).

Keracunan kadmium dapat bersifat berbahaya, karena menyebabkan kerusakan pada sistem tubuh seperti paru-paru, ginjal, anemia, tulang keropos,

komplikasi pada sistem reproduksi pria maupun wanita, dan meningkatkan risiko kanker pada manusia (Palar, 2008). Logam berat kadmium sangat berbahaya bagi pembuluh darah manusia, dikarenakan kadmium yang terikat dengan gugus Sulfhidril (-SH) dalam enzim karboksil sisteinil, histidil, hidroksil, dan fosfatil dari protein dan purin. Interaksi antara protein dan kadmium menyebabkan kadmium menjadi beracun serta menghambat sistem kerja enzim (Darmono, 1995).

2.3 Bakteri Indigenous

Bakteri *Indigenous* secara alami berkembang biak dengan bebas dan memiliki beragam manfaat bagi manusia dan lingkungan. Bakteri *indigenous* dapat tumbuh di lingkungan ekstrem atau suatu kondisi yang sangat tidak biasa dan keras untuk kehidupan, seperti suhu sangat tinggi atau rendah, tekanan tinggi, salinitas tinggi, atau pH yang ekstrem (Atlas & Bartha, 1998). Bakteri *Indigenous* sendiri memiliki kemampuan untuk mendegradasi limbah, mengendalikan hidup tanaman, dan berfungsi sebagai antibiotik (Batubara *et al.*, 2015). Bakteri *Indigenous* juga disebut sebagai bakteri pengurai serat, bakteri ini membantu teknologi pertanian dalam mikrobiologi. Pemanfaatan bakteri dari ekstraksi bakteri Indigenous relatif lebih terjangkau dari segi biaya, apabila dibandingkan dengan teknologi berbasis kimia. Untuk mengurangi kandungan pencemar pada air limbah, bakteri indigenous akan mengubah bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana (Sutanto, 2011).

Bakteri *Indigenous* tidak perlu menyesuaikan diri karena bakteri tersebut akan tumbuh dan berkembang di lingkungan aslinya (Arief *et al.*, 2010). Sifat petrofilik bakteri *indigenous* dapat mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan berkembang biak (Munawar, 2008). Berbagai isolat bakteri *indigenous* menunjukkan kemampuan bakteri tersebut dalam meremediasi limbah, oleh karena itu bakteri tersebut memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai penelitian. Pengembangan penggunaan bakteri Indigenous merupakan salah satu cara untuk menangani

kerusakan lingkungan yang ada dan dapat mencegah kerusakan berkelanjutan (Octavia, 2010).

2.4 Bioremediasi Logam

Bioremediasi adalah salah satu proses pengolahan biologis yang menggunakan organisme hidup seperti bakteri untuk mengurangi sumber kontaminan dari area yang terkontaminasi. Remediasi tersebut menjadikan lingkungan yang tercemar akan kembali seperti semula. Bioremediasi juga merupakan proses detoksifikasi lingkungan dengan menggunakan mikroorganisme, tanaman, atau enzim mikroba atau tanaman. Bakteri dan enzim adalah agen biologis paling umum yang digunakan (Arifiani & Ethica, 2018). Selama proses bioremediasi, enzim yang dibuat oleh mikroorganisme mengubah struktur polutan beracun menjadi lebih sederhana, menghasilkan metabolit yang tidak beracun dan berbahaya (Priadie, 2012).

Teknologi bioremediasi dibagi menjadi dua kategori: ex-situ (di luar lokasi) dan in-situ (di dalam lokasi). Jenis pengelolaan ex-situ melibatkan pemindahan fisik bahan-bahan yang terkontaminasi ke suatu tempat untuk penanganan lanjutan, sementara teknologi in situ adalah perawatan langsung yang diterapkan pada kontaminan di lokasi tercemar (Hardiani, 2011). Salah satu alternatif untuk mengatasi toksisitas logam berat di lingkungan tercemar adalah bioremediasi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Cara ini dianggap sebagai metode yang dapat mengurangi kontaminasi logam berat di lingkungan (Gandjar *et al*, 2006). Tergantung pada jenis logam dan lingkungannya, interaksi logam berat dengan bakteri dapat terjadi secara langsung atau tidak langsung (Tiquia-Arashiro, 2018).

2.4.1 Mekanisme Penurunan Logam Oleh Mikroorganisme

Proses penurunan kandungan logam berat memiliki dua mekanisme yang umum digunakan oleh mikroorganisme untuk menghilangkan kadar logam berat secara alami yaitu, *active uptake* dan *passive uptake*. Ion logam berat akan mengikat bagian permukaan sel berdasarkan daya tarik kimia mereka saat tersebar di permukaan sel. Suhendrayatna (2001) menyatakan

bahwa proses biosorpsi adalah istilah untuk proses *active uptake*. Dalam dua cara yang berbeda, ion logam berat mengikat dinding sel. Cara pertama adalah pertukaran ion, di mana ion logam berat menggantikan ion monovalen dan divalen seperti natrium, magnesium, dan kalium pada dinding sel. Cara kedua adalah formasi kompleks antara ion logam berat dan grup (gugus) fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hydroxy, phosphate, dan hydroxycarboxyl yang ada pada dinding sel.

Menurut Suhendrayatna (2001) biosorpsi berlangsung cepat dan efektif, baik sel mati maupun sel hidup dari suatu biomass dapat mengalami proses biosorpsi, yang memungkinkan proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel. Proses ini dapat terjadi dengan lebih baik jika ada pH tertentu dan ion lain di media di mana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut. Namun, ketika terdapat penghambat-penghambat proses metabolisme atau siklus gelap terang, teknik ini menjadi tidak efektif. Sehubungan dengan penyebaran sel, biosorpsi ion logam berat umumnya bolak balik, cepat, dan tidak bergantung pada faktor kinetik bioremoval.

Berbagai jenis sel hidup dapat mengalami *Active Uptake*. Mekanisme ini terjadi secara bersamaan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau akumulasi ion logam di dalam sel. Logam berat juga dapat masuk ke dalam proses metabolisme dan ekresi. Bergantung pada energi yang terkandung dan sensitif terhadap berbagai parameter, seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, dan cahaya, antara lain. Suhu yang rendah, ketersediaan sumber energi, dan penghambat metabolisme sel juga dapat menghambat proses. Sebaliknya, akumulasi ion yang menyebabkan racun pada mikroorganisme menghambat biosorpsi logam berat dengan sel hidup ini. Jenis mikroorganisme yang tahan terhadap kehadiran ion logam berat akan dipilih melalui proses seleksi yang ketat untuk menghasilkan mikroorganisme yang tahan terhadap efek racun dari ion logam (Suhendrayatna, 2001). Selain penyerapan, mikroorganisme juga dapat mengikat logam berat yang kemudian mengarah pada proses toksifikasi. Dengan permukaan sel protein, beberapa bakteri seperti *Ralstonia*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus* dapat mengikat logam

berat yang memungkinkan mereka digunakan dalam bioremediasi. Salah satu protein yang mampu mengikat logam adalah *Metallothionein*.

2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi

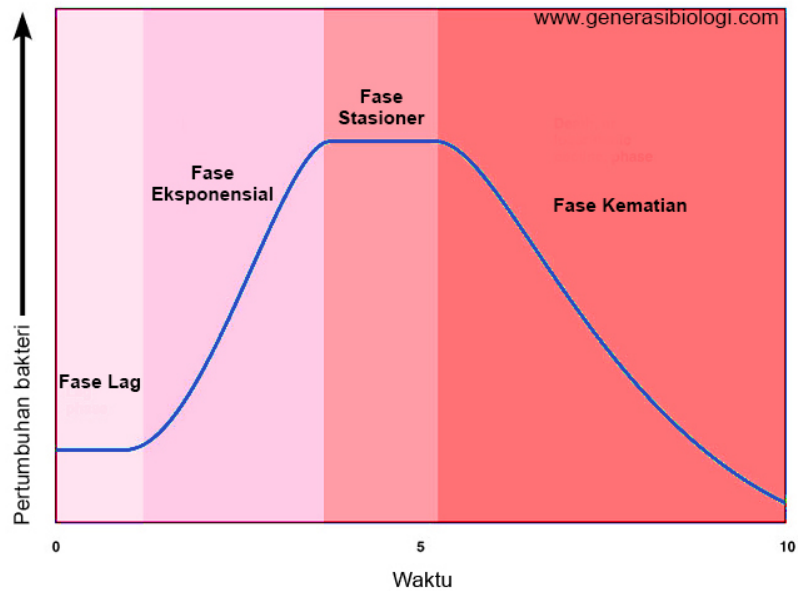
Proses bioremediasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi mikroorganisme, lama inkubasi, dan nilai pH yang menentukan keberhasilan proses bioremediasi. Lamanya inkubasi bergantung pada konsentrasi pencemar, semakin tinggi konsentrasi pencemar maka akan lebih lama mikroba membutuhkan waktu untuk mengurai bahan pencemar tersebut. Nilai pH atau derajat keasaman dapat mempengaruhi aktivitas mikroba dalam pengolahan limbah logam berat. Mikroorganisme mempunyai peran penting dalam proses penguraian logam berat pada tanah maupun perairan. Proses bioremediasi dapat dipengaruhi oleh beberapa variabel, antara lain:

1. Mikroorganisme

Mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mengurai kandungan logam berat dengan bantuan remediasi. Komponen yang berfungsi sebagai nutrisi akan dibuat dari polutan logam berat (Banerjee *et al*, 2016). Mikroorganisme jenis bakteri dapat bertahan hidup di lingkungan yang tercemar dengan memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon dan menghasilkan biosurfaktan, yang dapat membantu melepaskan hidrokarbon melalui emulsifikasi dan pelarutan (Sihag *et al*, 2014).

2. Lingkungan

Faktor lingkungan seperti oksigen, suhu, pH, kelembaban, dan tekstur tanah memengaruhi tingkat degradasi mikroba (Annisa, 2019). Untuk proses pertumbuhan bakteri, diperlukan nutrisi dan lingkungan yang baik, seperti dampak faktor lingkungan akan mempengaruhi kurva pertumbuhannya (Bertranda, 2019). Jumlah sel hidup dalam populasi bakteri selama periode waktu tertentu ditunjukkan dengan kurva pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan memiliki empat fase yang berbeda yaitu: lag, eksponensial (log), stasioner, dan kematian (Septiana, 2016).



Gambar 2.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri
(Sumber: www.generasibiologi.com)

3. Nutrisi

Pertumbuhan mikroorganisme membutuhkan nutrisi untuk bertahan hidup. Bakteri menggunakan nutrisi sebagai sumber energi, tetapi juga digunakan untuk membuat protoplasma dan sel struktural lainnya (Priadie, 2012). Ketersediaan nutrisi juga sangat penting untuk proses biodegradasi. Jenis nutrisi yang dibutuhkan tiap mikroba berbeda-beda, akan tetapi semua mikroba memerlukan karbon (C), fosfor (P), dan nitrogen (N). Mineral lain yang dibutuhkan mikroba adalah kalsium, mangan, besi, potasium, kobalt, tembaga, dan seng (Farida, 2016).

2.5 Parameter Uji Air Limbah

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang dapat diukur dan diuji dengan menggunakan berbagai parameter seperti, Parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis. Sedangkan untuk DO, BOD, COD, suhu dan pH, termasuk ke dalam parameter fisika dan kimia (Masduqi dan Slamet, 2009).

1. Suhu

Parameter ini dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan suhu yang nantinya dapat memengaruhi kualitas air dan aktivitas mikroorganisme

(Tchobanoglous & Stensel, 2003). Faktor yang mempengaruhi suhu air limbah yaitu, sumber air limbah, perubahan iklim, serta pengolahan fisik, kimia, dan biologi (Vesilind & Worrell, 2002).

2. Derajat Keasaman (pH)

Keasaman atau kebasaan suatu air dapat diketahui dengan melakukan pengujian pH menggunakan pH meter maupun pH universal. Nilai pH memiliki rentang 0-14, pengukuran yang menunjukkan angka 7 merupakan titik netral. Apabila pH lebih dari 7 maka air tersebut bersifat basa, sedangkan kurang dari 7 menunjukkan air tersebut bersifat asam (Kohlmann, 2003).

3. *Dissolve Oxygen* (DO)

Salah satu parameter penting dalam pengujian kualitas air adalah uji DO yang digunakan untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut dalam air (Wetzel, (2001). Oksigen terlarut sangat penting untuk proses respirasi pada bakteri aerob. Rendahnya kadar DO menunjukkan bahwa kondisi anaerob yang mendukung pertumbuhan bakteri anaerob. Sedangkan tingginya kadar DO mendukung keberadaan bakteri aerob yang berperan dalam dekomposisi bahan organik (Smith *et al*, 2016).

4. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Pengujian BOD dilakukan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh suatu mikroorganisme seperti bakteri sebagai penguraian bahan organik dalam air. Kadar BOD yang tinggi dapat dilihat dari banyaknya bahan organik yang akan dikonsumsi oleh bakteri yang berarti ada kemungkinan bahwa bakteri akan berkembang lebih besar. Pengujian BOD dilakukan 2 kali yaitu pada hari ke-0 dan hari ke-5 pengujian, untuk pengujian hari ke-5 sampel air perlu dilakukan inkubasi selama 5 hari sejak hari ke-0 pada suhu 20°C (Metcalf & Eddy, 2014).

5. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Parameter Uji COD merupakan pengukuran kimiawi yang digunakan untuk mengetahui jumlah oksigen sebagai pengoksidasi senyawa organik

maupun anorganik. Pengujian ini dapat mencakup semua senyawa yang dapat dioksidasi termasuk senyawa yang tidak dapat diurai bakteri (Sawyer *et al*, 2003) Penurunan kadar COD dalam air limbah beriringan dengan berkurangnya konsentrasi senyawa organik dalam air limbah (Rachmawati, 2017).

2.6 Penelitian Sebelumnya

Berikut ini merupakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk membantu dalam pengerjaan tugas akhir yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Terkait Bioremediasi Logam

Referensi	Jenis Bakteri	Sumber Pencemar / Logam	Hasil Penelitian
Alfian Maulana, Supartono, dan Sri Mursiti. (Bioremediasi Logam Pb pada Limbah Tekstil dengan <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>). 2017.	<i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>	Limbah Tekstil / Logam Pb	Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> 20% dapat mengurangi kadar logam dengan persentase penurunan 95,85%
Titik Wijayanti dan Dinna Eka Graha Lestari. (Bioremediasi Limbah Tercemar Kadmium (Cd) Pada Perairan di Kabupaten Pasuruan Menggunakan Bakteri Indigen Secara Ex-Situ). 2017.	Bakteri Indigen ex-situ	Limbah Tercemar Perairan Pasuruan / Logam Cd	Bakteri ini memiliki kemampuan untuk bioremediasi limbah dengan mengurangi kadar kadmium secara ex-situ serta meningkatkan kadar BOD, COD, dan DO.

Ahsana Hasany Riyadi. (Potensi Bakteri <i>Indigenous</i> Dari Tanah TPA Piyungan Untuk Bioremediasi Larutan Logam Kadmium (Cd)). 2023.	Bakteri <i>Indigenous</i> Tanah TPA Piyungan	Logam <i>artificial</i> Cd	Bakteri S1 pada konsentrasi 2 ppm dapat menurunkan sebesar 25% dan konsentrasi 12 ppm dapat menurunkan sebesar 34% logam Cd.
Devi widiyanti. (Potensi Isolat Bakteri <i>Indigenous</i> Limbah Cair Batik Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Tembaga (Cu)). 2020.	Bakteri <i>Indigenous</i>	Limbah Cair Batik / Logam Cu	Sepuluh isolat bakteri indegenous limbah cair batik yang resisten terhadap Cu 100 ppm. Isolat tersebut mampu menurunkan kandungan logam Cu sebesar 75,03%.
Emilya Sausan Qothrunnada. (Potensi Bakteri <i>indigenous</i> dari Tanah TPA Piyungan Dalam Bioremediasi Larutan Logam Timbal (Pb)). 2023.	Bakteri <i>Indigenous</i> Tanah TPA Piyungan	Logam <i>artificial</i> Pb	Bakteri A1 terbukti dapat meremediasi kandungan logam berat Pb pada konsentrasi 56 ppm terjadi removal sebesar 29%, sedangkan pada 61 ppm removal logam Pb sebesar 49%
Cut Taffazani Fithrian Nazla. (Bioremediasi Besi (Fe) Oleh <i>Bacillus sp.</i> Dari	<i>Bacillus sp</i>	Sedimen Sungai Krueng	Isolat bakteri dari Sungai Krueng Aceh tahan terhadap logam Fe

Sedimen Sungai Krueng Aceh). 2021.		Aceh / Logam Fe	pada konsentrasi 25, 50, dan 75 mg/L. Serta penurunan konsentrasi logam sebesar 88,44% dengan waktu 72 jam.
------------------------------------	--	-----------------	---

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuktikan bahwa bakteri *indigenous* dari berbagai sumber bisa meremediasi atau menurunkan kandungan logam berat di tanah maupun perairan dengan baik. Namun, sejauh ini belum ada penelitian yang menggunakan isolat bakteri dari tanah TPA Piyungan untuk meremediasi air limbah sisa proses industri tekstil. Sehingga pada penelitian ini nantinya akan memberikan informasi mengenai bioremediasi logam kadmium serta penurunan BOD dan COD dari limbah industri tekstil menggunakan bakteri *indigenous*.

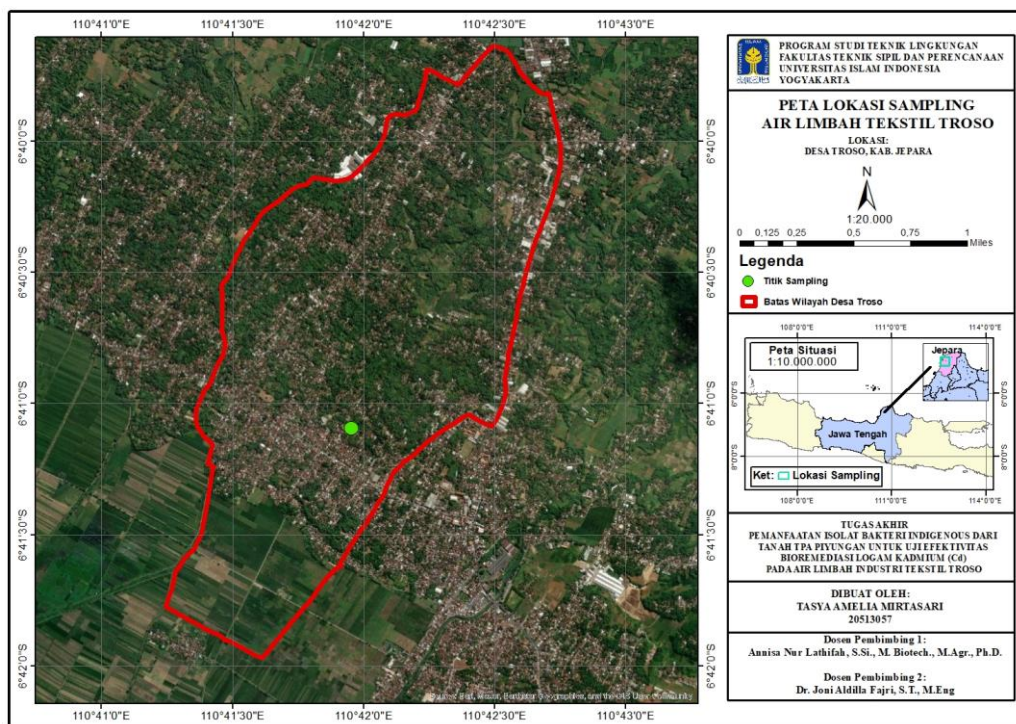
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia pada rentang waktu Mei – Juni 2024. Sedangkan untuk titik pengambilan sampel air limbah berlokasi di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara. Pengambilan sampel dilakukan oleh pihak ke-3 atau tidak secara langsung, air limbah akan diambil secara simplo dari tempat pembuangan pewarnaan kain tekstil atau outlet akhir industri tersebut. Lokasi pengambilan sampel ditampilkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Peta Lokasi pengambilan sampel air limbah

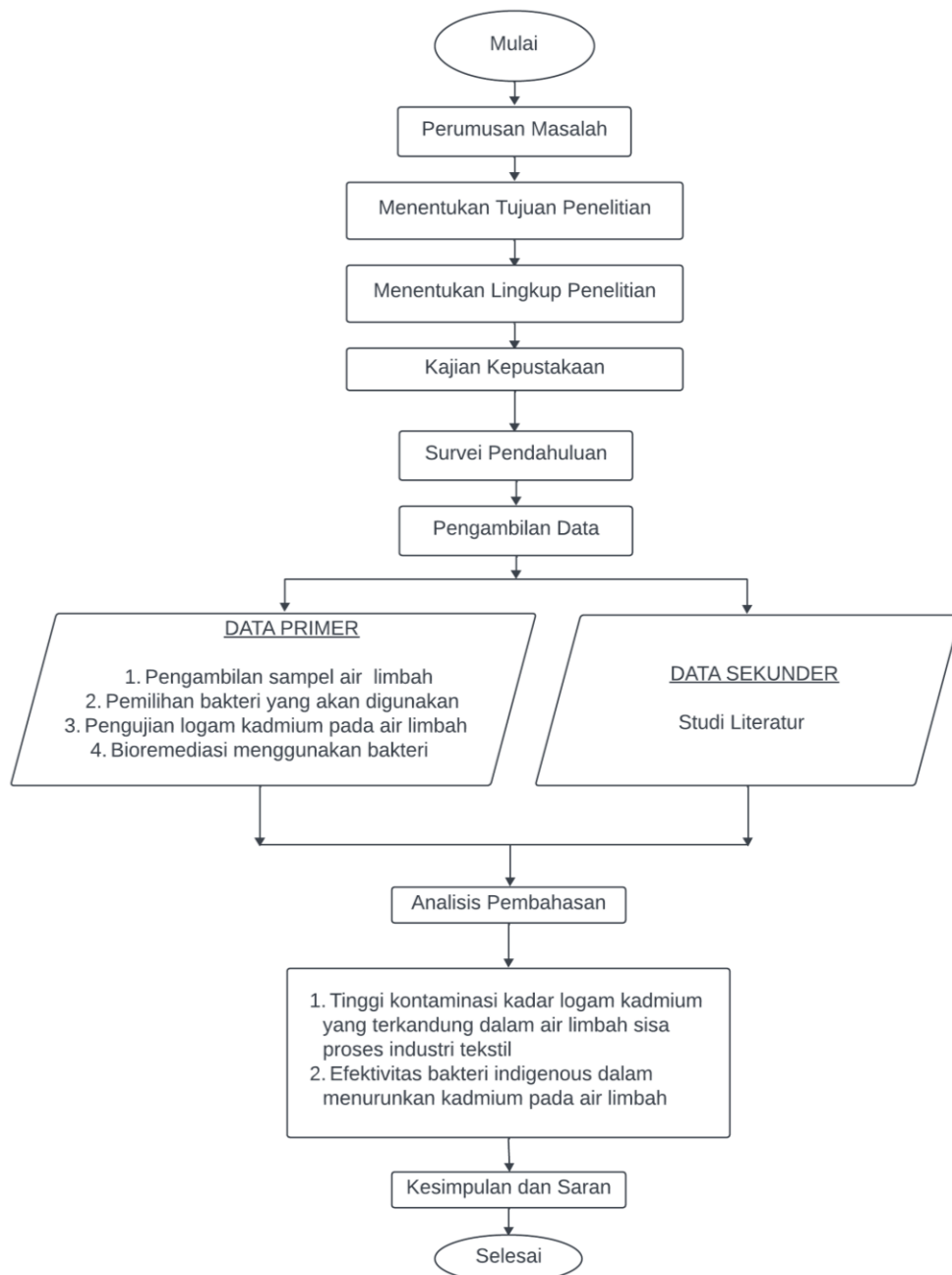
3.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis variabel, yaitu variabel terikat (dependen) dan variabel bebas (independen). Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat suatu penelitian, pada penelitian ini variabel terikatnya adalah logam berat kadmium (Cd), Biochemical Oxygen Demand

(BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD). Variabel bebas merupakan variabel yang dapat memengaruhi atau dapat menyebabkan perubahan, pada penelitian ini variabel bebasnya adalah isolat bakteri *indigenous*, pH, dan suhu.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan,



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Alat dan Bahan

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No	Nama Alat	Nama Bahan
1	Erlenmeyer (100 ml dan 250 ml)	Isolat Bakteri <i>indigenous</i>
2	Gelas Beaker (100 ml, 250 ml, dan 500 ml)	Nutrient Broth (NB)
3	Autoclave steril	Nutrient Agar (NA)
4	Autoclave limbah	Sampel Air Limbah
5	Jerigen 10 liter	Natrium Thiosulfat
6	Pipet Ukur (1 ml, 5 ml, dan 10 ml)	Alkali Iodida Azida
7	Pipet Tetes	Larutan Mangan Sulfat
8	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	Indikator Kanji
9	Inkubator 30°C	Kalium Bikromat
10	pH Universal	Larutan Asam Sulfat Pekat
11	Termometer	Larutan Asam Sulfat 20%
12	Jarum Ose	Pereaksi Asam Sulfat
13	Corong	Larutan HNO ₃
14	Total Plate Count (TPC)	Aquades
15	Kaca Arloji	Aquades Aerasi
16	Cawan Petri	
17	Karet Penghisap	
18	Botol Winkler 100 ml	
19	Tabung Reaksi	
20	Tabung Refluks	
21	Gelas Ukur	
22	Labu Ukur (10 ml, 25 ml, 50 ml, 250 ml)	
23	Buret & Statif	
24	Mikropipet & Pipet Tip	
25	Botol Vial	

3.5 Sampel Air Limbah

Air limbah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah air limbah sisa proses industri tekstil tenun di Desa Troso, Kecamatan Pecangaan, Kabupaten Jepara. Air limbah tersebut diambil dari outlet pembuangan industri tekstil tersebut. Sampel air limbah yang diambil sekitar 10 liter menggunakan jirigen. Pengambilan sampel ini melibatkan pihak ketiga, yang mana peneliti tidak mengambil sampel secara langsung, dan sampel air limbah dikirimkan melalui ekspedisi Jepara-Yogyakarta dengan estimasi waktu 2 hari kerja.

3.6 Prosedur Analisis pada Air Limbah

Air limbah tekstil diambil dari saluran pembuangan dan dibuang ke sungai di Desa Troso. Sumber air limbah didapatkan dari proses pencucian kain yang telah diwarnai. Air limbah sisa proses industri tersebut menghasilkan berbagai macam kandungan dengan konsentrasi tinggi yang berbahaya bagi lingkungan. Tabel 3.2 menunjukkan acuan metode pengujian masing-masing parameter.

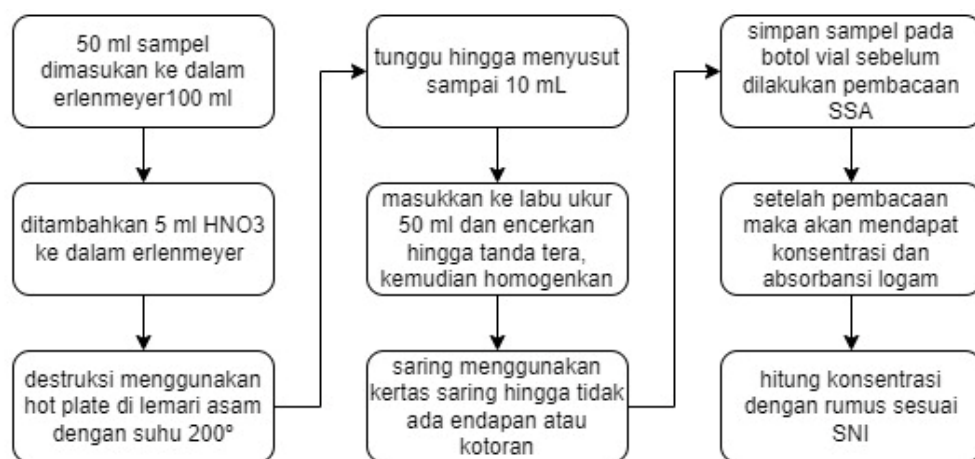
Tabel 3.2 Metode Pengujian

Parameter	Satuan	Metode	Keterangan
Kadmium (Cd)	mg/L	Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	SNI 06-6989 16-2004
BOD	mg/L	Titration Iodometri	SNI 6989.72:2009
DO	mg/L	Titration Iodometri	SNI 06-6989.14-2004
COD	mg/L	Refluks tertutup secara Spektrofotometri	SNI 6989.02:2019
pH	-	pH Universal	SNI 6989.11-2019
Suhu	°C	Thermometer	SNI 06-6989.23-2005

3.6.1 Pengujian Logam Kadmium pada Air Limbah

Untuk mengevaluasi kadar logam kadmium (Cd) dalam sampel air limbah yang berasal dari industri tekstil Desa Troso Jepara, pertama-tama melakukan destruksi sampel air limbah hingga konsentrasi yang dibutuhkan sesuai dengan acuan. Selanjutnya, sampel diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan panjang gelombang 228,8 nm. Untuk membuat

kurva kalibrasi, konsentrasi sumbu X diplotkan terhadap absorbansi sumbu Y. Selanjutnya, untuk menentukan kadar kadmium (Cd) dalam sampel, 100 mililiter larutan sampel diambil dan diukur absorbansi sampel pada panjang gelombang 228,8 nm, atau data hasil pengukuran dari larutan kadmium standar (Cd) diplotkan terhadap konsentrasi larutan kadmium (Cd) (Eka, 2020).



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Logam

Sesuai SNI 6989-84:2019 tentang Air dan Air Limbah Bagian 84: Cara Uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nya, larutan yang akan digunakan untuk proses bioremediasi logam dengan AAS harus sudah disaring terlebih dahulu dengan kertas saring 0,42µm. Perhitungan untuk konsentrasi logam sesuai dengan SNI ini adalah sebagai berikut:

$$Cd = C \times fp$$

Keterangan:

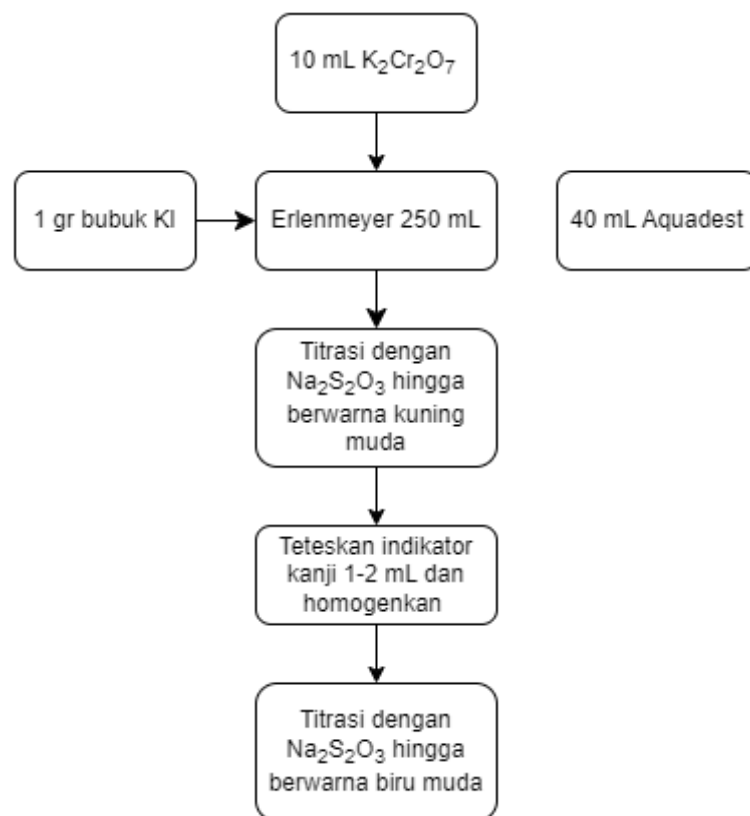
C : Konsentrasi dari hasil pengukuran (mg/L)

fp : Faktor Pengenceran

3.6.2 Pengujian *Dissolve Oxygen* (DO) pada Air Limbah

Pada pengujian ini menggunakan alat dan bahan berupa labu ukur 250 mL, pipet ukur 5 mL, *ball* pipet, botol winkler 100 mL, erlenmeyer 250 mL, buret & statif, gelas beaker, pipet tetes, gelas ukur 100 ml, aquades aerasi, larutan Na₂S₂O₃ larutan MnSO₄, larutan K₂Cr₂O₇, larutan H₂SO₄, bubuk KI, larutan larutan Alkali

Iodida Azida, dan indikator kanji. Tahapan pengerjaan uji DO ini dimulai dari pembuatan larutan yang sesuai dengan SNI, sebelum dilakukan pengujian DO perlu dilakukan standarisasi larutan thiosulfat untuk mengetahui bahwa larutan tersebut memiliki tingkat konsentrasi yang tepat untuk mengukur DO secara akurat. Tahapan standarisasi larutan thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ditunjukkan seperti pada Gambar 3.4 berikut ini,



Gambar 3.4 Diagram Alir Standarisasi Larutan Thiosulfat

Rumus perhitungan standarisasi larutan thiosulfat setelah dilakukannya titrasi adalah sebagai berikut:

$$N - \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{N_2 \times V_2}{V_1}$$

Keterangan :

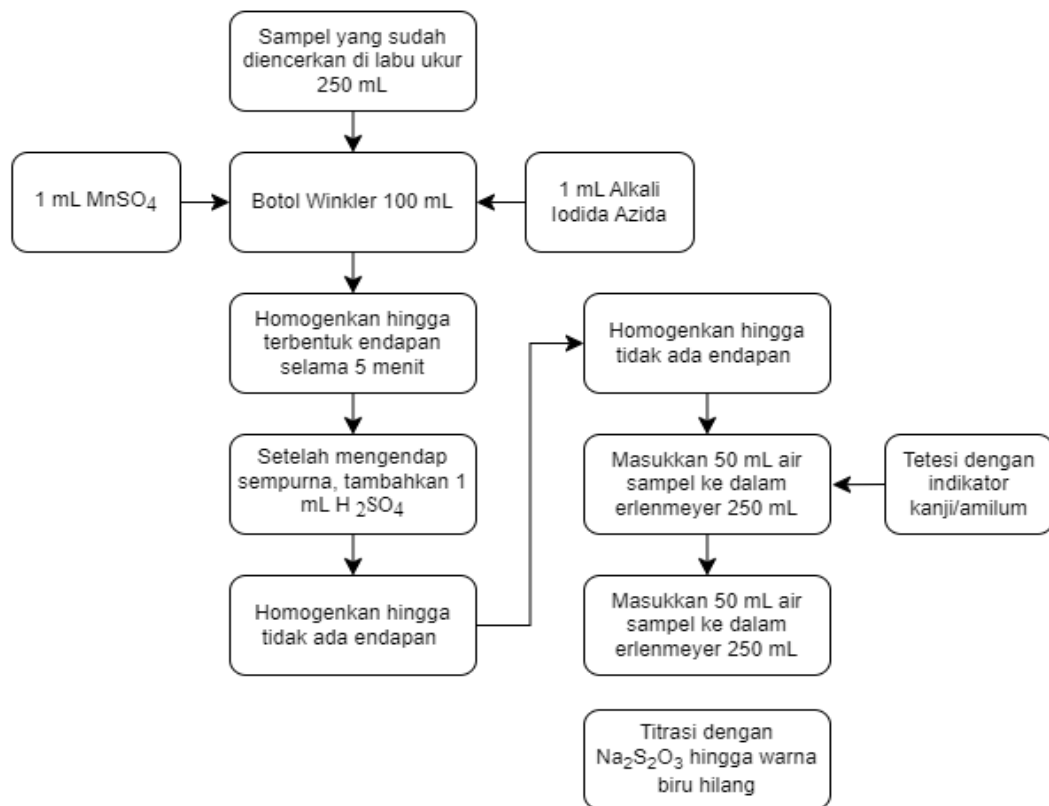
N = normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

V_1 = mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

N_2 = ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

V_2 = normalitas larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Setelah dilakukan titrasi untuk mengetahui normalitas standarisasi, maka dapat dilanjutkan dengan titrasi sampel DO seperti yang sudah disiapkan terlebih dahulu, tahapan proses pengambilan sampel hingga titrasi ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut,



Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Pengujian DO

Rumus yang digunakan untuk perhitungan Uji DO sebagai berikut:

$$DO \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{VxNx8000xF}{50}$$

Keterangan :

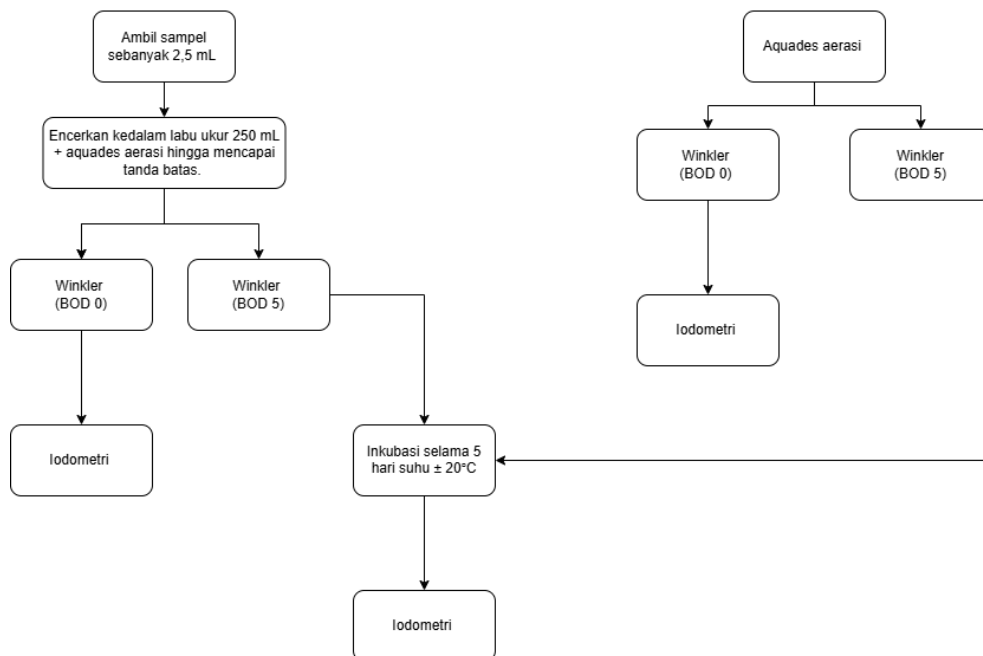
V = mL Na₂S₂O₃

N = normalitas Na₂S₂O₃

F = faktor volume botol dibagi volume botol dikurangi MnSO₄ dan Alkali Iodida Azida $\left(\left(\frac{100}{100-2} \right) \right)$

3.6.3 Pengujian *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada Air Limbah

Pada pengujian BOD diperlukan alat yaitu botol winkler, labu ukur 250 mL, lemari inkubasi dengan suhu 20°C, pipet ukur 5 mL, dan *ball* pipet. Faktor pengenceran yang digunakan pada uji BOD ini adalah 100x dan sampel uji sebanyak 2,5 mL. Hal ini dikarenakan jenis sampel uji yang digunakan masuk ke dalam kategori limbah industri yang sangat pekat. Prosedur pengambilan sampel dan penyimpanan sampel ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut,



Gambar 3.6 Diagram Alir Prosedur Pengambilan Sampel Uji BOD
Rumus yang digunakan untuk perhitungan uji BOD₅ sebagai berikut:

$$BOD_5 = \frac{(A_1 - A_2) \left(\frac{B_1 - B_2}{V_B} \right) V_C}{P}$$

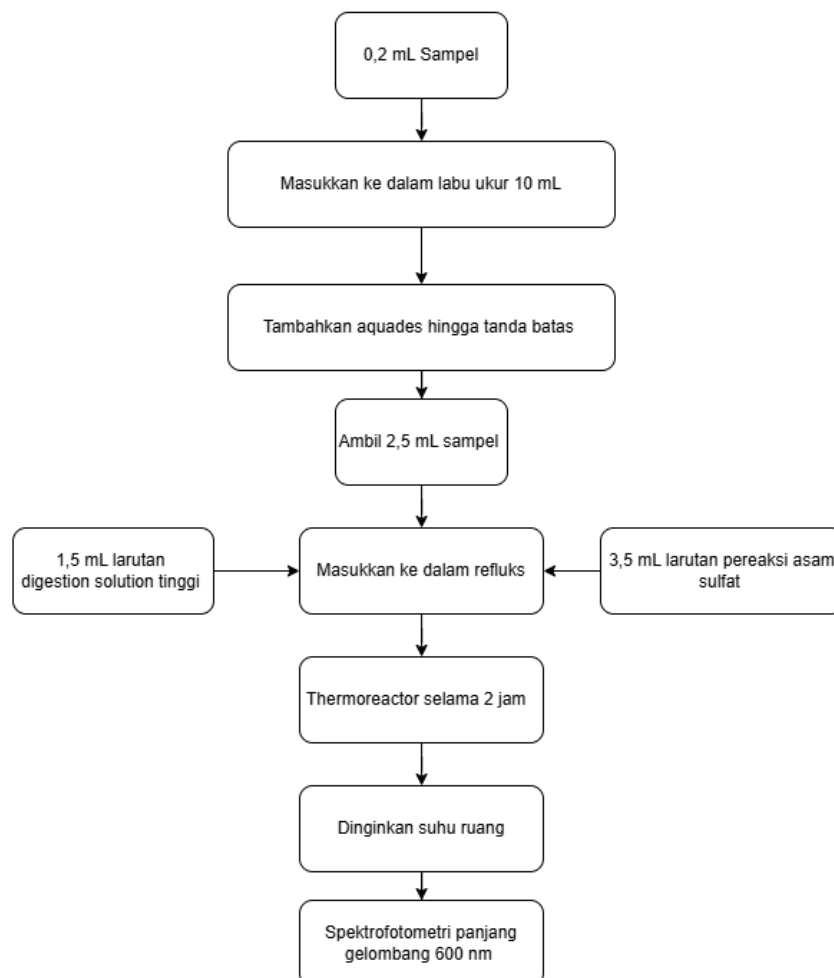
Keterangan :

- BOD₅ : Nilai BOD₅ contoh uji (mg/L)
- A₁ : kadar DO contoh uji sebelum inkubasi 0 hari (mg/L)
- A₂ : kadar DO contoh uji setelah inkubasi 5 hari (mg/L)
- B₁ : kadar DO blanko sebelum inkubasi 0 hari (mg/L)
- B₁ : kadar DO blanko setelah inkubasi 5 hari (mg/L)
- V_B : volume suspensi mikroba dalam botol DO blanko

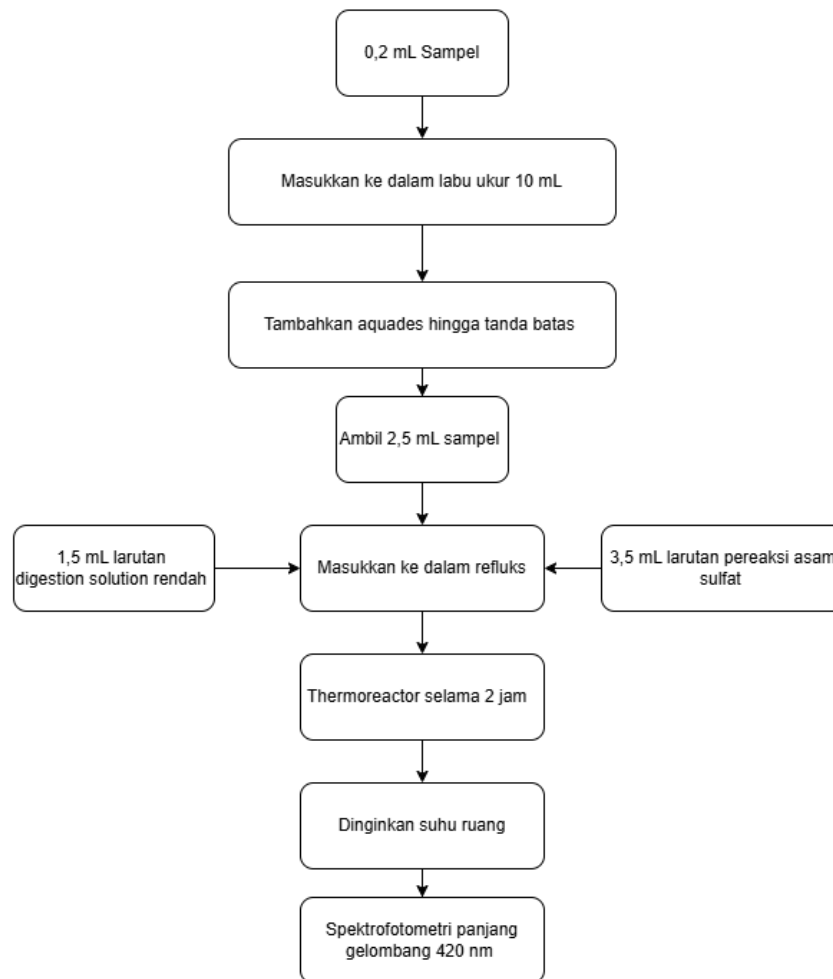
V_C : volume suspensi mikroba dalam botol contoh uji
 P : perbandingan volume contoh uji (V_1) per volume total (V_2)

3.6.3 Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Air Limbah

Pengukuran contoh uji COD terbagi menjadi dua yaitu uji COD tinggi dan uji COD rendah. COD tinggi memiliki kisaran angka 100 mg/L-900 mg/L dan COD rendah memiliki kisaran angka lebih kecil yaitu dibawah 90 mg/L. Tahap pengujian COD rendah dan tinggi relatif sama, hanya saja penggunaan *Digestion Solution* dengan konsentrasi berbeda yang membedakannya. Tahapan pengujian COD dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengujian COD Tinggi



Gambar 3.8 Diagram Alir Pengujian COD Rendah

Hasil pembacaan serapan sampel uji menggunakan spektrofotometer kemudian dibuat regresi linier dari kurva kalibrasi, kemudian hitung konsentrasi COD menggunakan rumus berikut:

$$COD = C \times f$$

Keterangan :

C : nilai COD contoh uji (mg/L)

f : faktor pengenceran

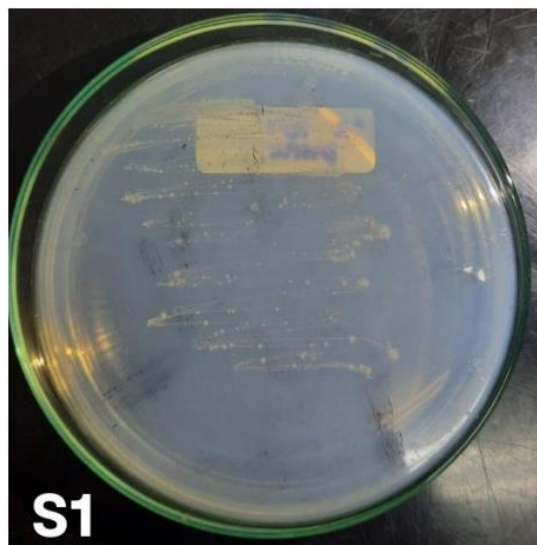
3.7 Prosedur Analisis pada Bakteri

Bakteri yang digunakan pada penelitian ini merupakan bakteri dari penelitian yang dilakukan Riyadi (2023), hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa isolat

bakteri dari tanah TPA Piyungan telah di karakterisasi sesuai warna dan bentuk seperti pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Karakterisasi Bakteri *Indigenous* dari tanah TPA Piyungan

Karakterisasi Bakteri <i>Indigenous</i>	
Titik Sampel	Ke-3
Pengenceran	10 ⁻⁵
Warna	Oranye
Bentuk Bakteri	<i>Coccus</i>
Jenis Gram Bakteri	Gram Positif
Kondisi Bakteri	<ul style="list-style-type: none"> - Aerob (membutuhkan oksigen untuk tumbuh) - Mesofil (tumbuh pada suhu 20°C - 45°C)



Gambar 3.9 Bakteri *Indigenous* dari Tanah TPA Piyungan
(Sumber: Riyadi, 2023)

Bakteri *Indigenous* ini merupakan hasil isolasi sampel tanah dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan yang berlokasi di Yogyakarta. Bakteri tersebut berasal dari sampah serta limbah yang dibuang, sehingga terbentuk habitat bagi berbagai mikroorganisme. Sampah dan limbah pada TPA tersebut merupakan sumber nutrisi bagi mikroorganisme untuk bertahan hidup. Sampel tanah ini akan mengalami proses pengenceran dan akan diamati pertumbuhan koloninya (Riyadi, 2023). Selama pengamatan dilakukan juga pewarnaan gram dan karakterisasi bakteri dengan metode makroskopik yang nantinya dapat memperlihatkan warna, bentuk, ukuran, dan elevasi bakteri. Pada pewarnaan gram akan menunjukkan sifat

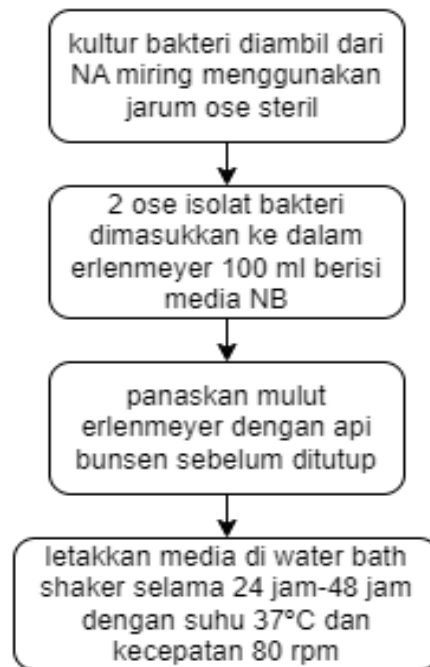
gram tersebut akan negatif atau positif, gram negatif akan berwarna merah hingga merah muda, sedangkan gram positif akan berwarna ungu (Sabdaningsih *et al*, 2013).

3.7.1 Pembuatan Media

Pada penelitian ini menggunakan media berupa *Nutrient Agar* (NA) dan *Nutrient Broth* (NB). Media NA dibuat dalam botol Erlenmeyer dengan menggabungkan 10 gram *Nutrient Agar* dengan 500 ml akuades steril. Larutan tersebut dipanaskan di atas kompor listrik selama 10 hingga 15 menit sambil diaduk (Kumar, 2016). Untuk pembuatan media NB, menggunakan gelas beaker 1000 ml untuk mencampur 8 gram *Nutrient Broth* dengan 1000 ml akuades yang kemudian dididihkan dan diaduk sampai homogen. Media dipindahkan ke erlenmeyer 1000 ml dan ditutup dengan kapas secara rapat agar tidak terkontaminasi udara (Wahyuningsih & Zulaika, 2019). Setelah itu kedua larutan NA dan NB dibiarkan dingin sebelum disterilkan dalam autoklaf selama 20 menit pada suhu 121°C untuk mencegah penyebaran mikroorganisme.

3.7.2 Kultivasi Bakteri

Pada tahapan kultivasi ini memerlukan jarum ose, tabung reaksi, rak tabung reaksi, mikropipet, api bunsen, *water bath*, erlenmeyer 100 ml, alkohol 70% dan *Nutrient Broth* (NB) sebagai medianya. Bakteri yang telah dipilih kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 ml berisi NB sebanyak 2 ose, erlenmeyer tersebut kemudian di *shaker* selama 24 jam dengan kecepatan 100 rpm dan suhu 28-30°C (Affie, 2022). Setelah melakukan kultivasi maka bakteri yang sudah siap atau keruh nantinya akan dipindahkan ke reaktor berisi air limbah dengan konsentrasi yang sudah ditentukan (Pambudi, 2020). Tahapan kultivasi bakteri dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut:



Gambar 3.10 Diagram Alir Kulturasasi Bakteri

3.7.3 Pembuatan Reaktor dan Running Reaktor

Reaktor yang akan dibuat untuk membantu penelitian ini adalah reaktor sederhana dengan skala laboratorium berupa toples berukuran 500 mL. Tiap reaktor akan berisi 250 mL air limbah dengan konsentrasi yang sama. Dalam penelitian ini dilakukan 3 kali pengulangan untuk pengoperasian reaktornya. Reaktor ini dibuat terbuka atau tidak diberi tutup dikarenakan bakteri yang digunakan termasuk bakteri aerobik.

Pengoperasian reaktor ini akan dilakukan selama 2 bulan, yaitu mulai tanggal 25 April 2024 – 25 Juni 2024. Pengamatan tiap konsentrasi reaktor dilakukan selama 2 minggu dengan pengujian mulai hari ke-0 hingga hari ke-14, pengujian sampel dilakukan pada hari ke-0, 4, 7, dan 14. Sampel uji untuk *running* reaktor ini akan dibedakan berdasarkan banyaknya konsentrasi bakteri *indigenous* yang digunakan. Konsentrasi bakteri yang akan digunakan sebesar 0,5% dan 0,9% dengan kode K1 untuk Konsentrasi 1 dan K2 untuk Konsentrasi 2. Komposisi reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

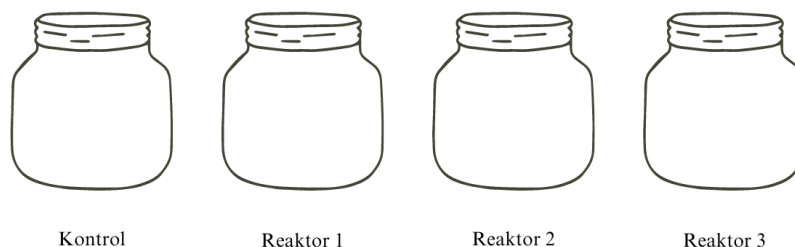
Tabel 3.4 Komposisi Reaktor K1 (0,5%)

Nama Reaktor	Komposisi Reaktor
Kontrol	Air Limbah Tekstil Troso
Reaktor 1	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,5%
Reaktor 2	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,5%
Reaktor 3	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,5%

Tabel 3.5 Komposisi Reaktor K2 (0,9%)

Nama Reaktor	Komposisi Reaktor
Kontrol	Air Limbah Tekstil Troso
Reaktor 1	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,9%
Reaktor 2	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,9%
Reaktor 3	Air Limbah Tekstil + Bakteri 0,9%

Bentuk desain reaktor yang akan digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut

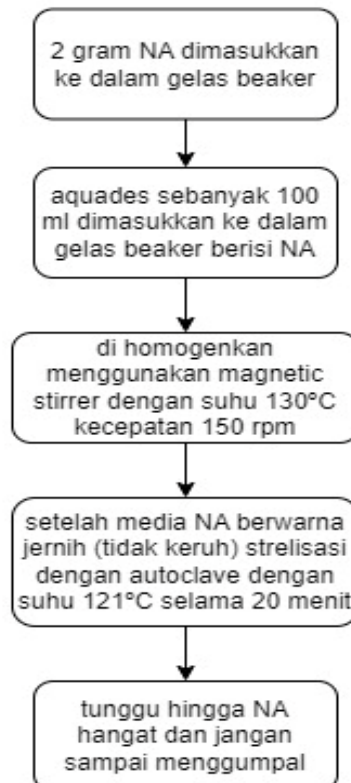


Gambar 3.11 Desain reaktor

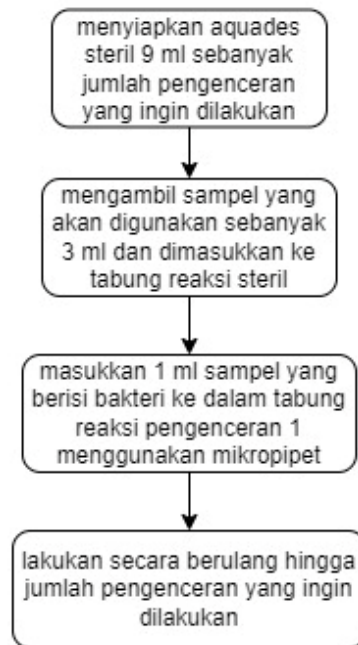
3.7.4 Pertumbuhan Bakteri *Indigenous*

Proses Pertumbuhan bakteri dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat berupa cawan petri, rak tabung reaksi, bunsen, tabung reaksi, jarum ose, gelas beaker, *colony counter*, mikropipet, pipet tip, inkubator, *hotplate*, dan *magnetic stirrer*. Untuk bahan yang digunakan yaitu kultur bakteri berumur 24 jam, alkohol, akuades, dan NA (*Nutrient Agar*) (Trio, 2015). Analisis pertumbuhan bakteri dapat menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Untuk menghitung pertumbuhan bakteri dengan TPC, maka dilakukan pengenceran bakteri 10^{-6} dan 10^{-7} . Media pertumbuhan bakteri diinkubasi dalam cawan terbalik selama 24-48 jam pada suhu

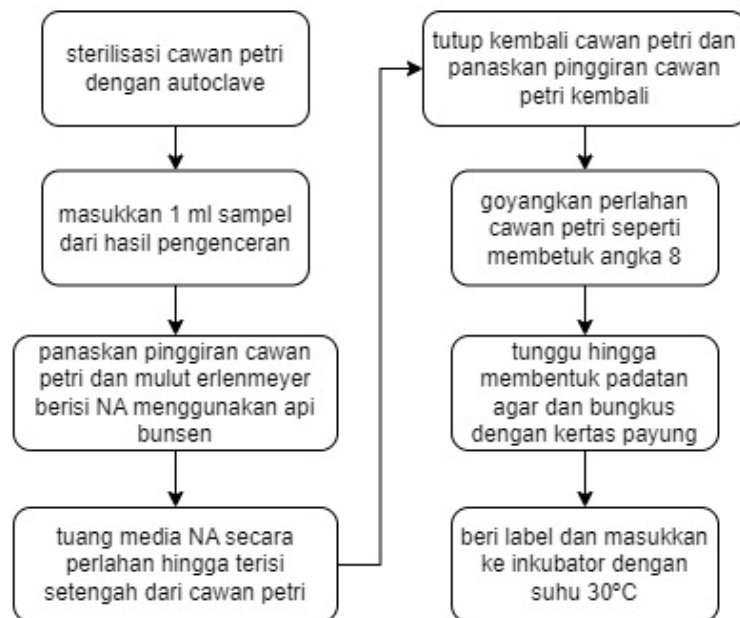
30°C, dengan jumlah koloni sebagai kriteria berkisar antara 30 dan 300 koloni (Freya *et al*, 2010). Sebelum menghitung koloni, perlu dilakukan *pour plate* untuk menumbuhkan bakteri pada media NA di cawan petri. Prosedur pembuatan media NA, pengenceran bakteri, dan proses *pour plate* dapat dilihat pada Gambar 3.12, Gambar 3.13, dan Gambar 3.14 berikut:



Gambar 3.12 Diagram Alir Pembuatan Media *Nutrient Agar*



Gambar 3.13 Diagram Alir Proses Pengenceran



Gambar 3.14 Diagram Alir *Pour Plate*

Rumus empiris berikut digunakan untuk menentukan jumlah koloni yang harus dihitung (Febrinawati, 2017):

$$\left(\frac{\text{koloni}}{\text{ml}}\right) = \text{Jumlah koloni per cawan} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

3.8 Analisis Data Penelitian

Analisis konsentrasi bakteri dilakukan untuk menunjukkan bahwa bakteri tersebut dapat menurunkan kadar logam kadmium pada air limbah tekstil dengan konsentrasi tertentu. Pengujian antara bakteri dan variabel terikat memiliki hubungan untuk mengetahui berapa banyak penurunan variabel yang dapat dilakukan oleh bakteri. Rumus perhitungan efisiensi penurunan logam setelah dilakukan bioremediasi yaitu:

$$Efisiensi = \frac{Konsentrasi\ Logam\ Awal - Konsentrasi\ Logam\ Akhir}{Konsentrasi\ Logam\ Awal} \times 100\%$$

Selanjutnya, analisis konsentrasi logam berat dilakukan dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Untuk pengujian *Dissolve Oxygen* (DO) dilakukan pada hari ke-0 dan ke-5 untuk menganalisis BOD air limbah tekstil. Pengujian setiap parameter dilakukan pada hari ke-0, 4, 7 dan 14. Data hasil pengujian akan direpresentasikan menggunakan grafik berupa tren dan kolom, kemudian data tersebut juga akan diuji korelasi menggunakan SPSS dengan metode Spearman.

Korelasi Spearman merupakan hubungan antara dua variabel yang tidak memenuhi asumsi normalitas. Korelasi ini menunjukkan apabila salah satu variabel meningkat, maka variabel lainnya juga cenderung meningkat atau menurun. Pada korelasi ini terdapat dua hipotesis yaitu, hipotesis nol (H_0) artinya tidak ada korelasi antara TPC dengan BOD, TPC dengan COD, dan TPC dengan Logam, sedangkan hipotesis alternatif (H_a) artinya adanya korelasi antara TPC dengan BOD, TPC dengan COD, dan TPC dengan Logam. Tingkat koefisien korelasi Spearman berkisar antara -1 hingga 1 yang diartikan -1 sebagai hubungan negatif sempurna, 1 sebagai hubungan sempurna dan 0 berarti tidak ada hubungan.

- 0 – 0,19 : Korelasi sangat lemah
- 0,20 – 0,39 : Korelasi lemah
- 0,40 – 0,59 : Korelasi sedang
- 0,60 – 0,79 : Korelasi kuat
- 0,80 - 1 : Korelasi sangat kuat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Sampel *Pure*

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi limbah murni dari air limbah sisa proses industri tekstil di Desa Troso. Air limbah tersebut merupakan air buangan dari proses pembilasan dan pewarnaan kain tenun. Limbah *pure* ini memiliki warna hitam pekat dan bau yang menyengat serta berbusa. Menurut Sugiharto (1987), bau limbah disebabkan oleh pembusukan bahan cemaran organik oleh mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme dapat menguraikan zat organik atau reaksi kimia yang terjadi yang menghasilkan gas tertentu. Sampel limbah tersebut diuji dengan parameter logam Cd, COD, BOD, pH, dan suhu. Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui konsentrasi awal masing-masing parameter dan menjadi pembanding penurunan konsentrasi dengan sampel uji yang akan diberi perlakuan. Karakteristik dan komposisi air limbah sisa proses industri tekstil di Desa Troso sebagai berikut:

Tabel 4.1 Karakteristik dan Komposisi Air Limbah *Pure*

Parameter	Hasil Limbah <i>Pure</i>	Baku Mutu
pH	11	6-9
Suhu	28 °C	38 °C
BOD	1075 mg/l	60 mg/l
COD	35426 mg/l	150 mg/l
Logam Cd	0,058 mg/l	0,007 mg/l

Dari data diatas diketahui bahwa tingginya kandungan organik dapat mempengaruhi kualitas lingkungan dan menyebabkan pencemaran serta penurunan oksigen terlarut pada air. Hasil karakterisasi air limbah tersebut juga melebihi ambang batas yang ditentukan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019. Dari tabel karakteristik dan komposisi tersebut menunjukkan bahwa suhu air limbah dari sisa proses industri tekstil tidak melebihi baku mutu maksimal yang

ditetapkan yaitu sebesar 38°C. Kondisi ini memperlihatkan bahwa sistem pendingin pada tampungan air limbah yang digunakan dapat menjaga suhu air limbah agar tetap di batas yang aman. Sedangkan untuk parameter lain yang masih melampaui batas maksimum air limbah industri tekstil maka harus dilakukan pengujian untuk membantu penurunan nilai yang melebihi baku mutu tersebut (Burkinshaw & Salihu, 2017).

Pada sampel limbah *Pure* ini didapatkan nilai oksigen terlarut (DO) sebesar 2,15 ml, yang mana hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat pencemaran air tersebut tinggi, sedangkan semakin besar oksigen terlarut maka semakin baik kualitas airnya. Nilai BOD dan COD yang tinggi berdampak pada penurunan DO karena mikroorganisme didalam air akan menghabiskan oksigen terlarut yang mengidentifikasi bahwa air tersebut tercemar (Hammer, 2012). Hubungan penggunaan parameter BOD dan COD dengan bioremediasi bakteri *Indigenous* dikarenakan nilai BOD dan COD yang tinggi menunjukkan banyaknya substrat (bahan organik) yang tersedia bagi bakteri untuk pertumbuhan. Bakteri menggunakan bahan organik ini sebagai sumber energi dan nutrisinya.

4.2 Pertumbuhan Bakteri menggunakan *Total Plate Count* (TPC)

Bakteri *Indigenous* yang berperan sebagai agen bioremediasi ditumbuhkan pada reaktor sederhana berisi 250 ml air limbah tekstil, bioremediasi menggunakan bakteri ini dibagi menjadi 2 konsentrasi yaitu, Konsentrasi 1 (K1) yang berisi 0,5% bakteri atau sekitar 1,25 ml dan Konsentrasi 2 (K2) yang berisi 0,9% bakteri atau sekitar 2,25 ml. Pemilihan konsentrasi bakteri tersebut dilakukan karena pada penelitian yang dilakukan oleh Baxi *et al* (2019), menunjukan bahwa bakteri dengan konsentrasi 0%-1% dapat menurunkan kandungan logam pada tanah yang terkontaminasi. Penggunaan bakteri dengan konsentrasi 0,5% dikarenakan mengambil konsentrasi bakteri optimal paling rendah yang dapat menurunkan kontaminasi logam. Sedangkan penggunaan bakteri 0,9% dikarenakan konsentrasi tersebut lebih rendah dari 1% tetapi masih cukup tinggi untuk menunjukkan hasil yang diinginkan. Konsentrasi bakteri memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi proses bioremediasi dalam penghilangan kontaminan. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi bakteri yang lebih tinggi biasanya meningkatkan laju degradasi kontaminan karena lebih banyak enzim yang diproduksi untuk memecah

polutan (Jiang *et.al*, 2018). Bakteri dengan masing-masing konsentrasi tersebut dimasukkan kedalam reaktor dengan 3 kali pengulangan dan 1 kontrol. Pengulangan tersebut dilakukan agar mengetahui seberapa akurat dan konsisten suatu hasil penelitian serta untuk mengurangi kesalahan penelitian yang terjadi. Sedangkan reaktor kontrol digunakan untuk memastikan kondisi sampel tanpa bakteri tetap sama nilainya dan dapat dibandingkan dengan sampel uji setelah dilakukan bioremediasi.

Pertumbuhan suatu bakteri dapat dihitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC), pengenceran yang digunakan untuk analisis pertumbuhan bakteri ini adalah 10^{-6} dan 10^{-7} dan dilakukan secara *duplo*. Bakteri yang sudah di inkubasi selama 1 minggu dengan suhu 30°C akan muncul koloni berwarna kekuningan dan berbentuk bulat yang mempermudah mikroorganisme untuk dilihat (Dwijoseputro, 2005). Penggunaan media *Nutrient Agar* (NA) untuk *pour plate* dikarenakan NA merupakan salah satu media universal yang memungkinkan seluruh mikroorganisme untuk berkembang biak, karena mengandung protein untuk energi bakteri. Dari 3 reaktor dengan pengulangan yang sama, pada uji TPC ini menggunakan salah satu air sampel pada reaktor sebagai perwakilan pengujiannya, hal tersebut dilakukan karena komposisi bakteri pada tiap pengulangan reaktor memiliki konsentrasi yang sama. Jumlah bakteri yang ada dalam 1 mililiter sampel air limbah ditunjukkan dalam *Colony Forming Unit* (CFU) (Mutaqin *et al.*, 2021). Jumlah bakteri pada K1 dengan persen bakteri sebanyak 0,5% atau sekitar 1,25 ml yang tumbuh selama pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Jumlah Koloni Bakteri K1 (0,5%)

Konsentrasi 1 (0,5%)			
Hari	Pengenceran	Jumlah Koloni	TPC (CFU/mL)
Hari ke-0	10 ⁻⁶	60	5 x 10 ⁸
	10 ⁻⁶		
	10 ⁻⁷	42	
	10 ⁻⁷		
Hari ke-4	10 ⁻⁶	251	2,5 x 10 ⁹
	10 ⁻⁶	250	
	10 ⁻⁷		
	10 ⁻⁷		
Hari ke-7	10 ⁻⁶	66	6 x 10 ⁸

Hari ke-14	10^{-6}	48	$5,3 \times 10^8$
	10^{-7}		
	10^{-7}		
	10^{-6}	77	
	10^{-6}	31	
	10^{-7}		
	10^{-7}		

Dari data yang ditampilkan Tabel 4.2 diketahui bahwa dalam menghitung jumlah koloni bakteri dengan metode TPC dilakukan dengan 7 kali pengenceran dan dilakukan secara duplo di hari ke-0, ke-4, ke-7 dan ke-14, kemudian diambil rata-rata dari setiap pengenceran. Pada hari ke-0 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 60, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 42, kedua jumlah koloni tersebut diambil rata-rata dan menghasilkan koloni bakteri sebanyak 5×10^8 CFU/ml. Untuk hari ke-4 pada pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 251, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 250, jumlah kedua koloni tersebut kemudian di rata-rata dan menghasilkan koloni bakteri sebanyak $2,5 \times 10^9$ CFU/ml. Sedangkan pada hari ke-7 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 66, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan sebanyak 48, kedua koloni dari kedua pengenceran tersebut di rata-rata dan menghasilkan koloni bakteri sebanyak 6×10^8 CFU/ml. Kemudian pada hari ke-14 pada pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 77, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 31, kedua koloni tersebut dijumlah dan diambil rata-rata sehingga menghasilkan koloni bakteri sebanyak $5,3 \times 10^8$ CFU/ml.

Jumlah bakteri yang tumbuh pada K2 dengan persen bakteri sebanyak 0,9% atau sekitar 2,25 ml, juga dilakukan pengenceran secara duplo yaitu 10^{-6} dan 10^{-7} . Pengambilan sampel air limbah yang berisi bakteri tersebut diambil dan dimasukkan ke cawan petri yang setelahnya dituang dengan media NA. Sebelum cawan petri dibuka, cawan petri dan mulut erlenmeyer yang berisi media NA harus disterilkan terlebih dahulu dengan dipanaskan pada api bunsen agar tidak terjadi kontaminasi. Pengambilan sampel air menggunakan *mikropipet* sebanyak 1 ml. Jumlah pertumbuhan koloni dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Jumlah Koloni Bakteri K2 (0,9%)

Konsentrasi 2 (0,9%)			
Hari	Pengenceran	Jumlah Koloni	TPC (CFU/mL)
Hari ke-0	10 ⁻⁶	52	6,4 x 10 ⁸
	10 ⁻⁶		
	10 ⁻⁷	77	
	10 ⁻⁷		
Hari ke-4	10 ⁻⁶	150	1,6 x 10 ⁹
	10 ⁻⁶		
	10 ⁻⁷	176	
	10 ⁻⁷		
Hari ke-7	10 ⁻⁶	83	7 x 10 ⁸
	10 ⁻⁶		
	10 ⁻⁷	61	
	10 ⁻⁷		
Hari ke-14	10 ⁻⁶	56	4,3 x 10 ⁸
	10 ⁻⁶		
	10 ⁻⁷	30	
	10 ⁻⁷		

Pada hari ke-0 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 52, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 77, jumlah koloni dari kedua pengenceran tersebut di ambil rata-rata dan menghasilkan koloni bakteri sebanyak $6,4 \times 10^8$ CFU/ml. Sedangkan pada hari ke-4 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 150, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 176, jumlah koloni dari kedua pengenceran tersebut kemudian di ambil rata-rata dan menghasilkan koloni bakteri sebanyak $1,6 \times 10^9$ CFU/ml. Pada hari ke-7 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 83, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 61, kemudian kedua jumlah koloni pengenceran tersebut di rata-rata dan koloni bakteri yang didapatkan sebanyak 7×10^8 CFU/ml. Sedangkan pada hari ke-14 pengenceran 10^{-6} didapatkan jumlah koloni sebanyak 56, dan pada pengenceran 10^{-7} didapatkan jumlah koloni sebanyak 30, kedua koloni tersebut dijumlah dan diambil rata-rata sehingga mendapatkan hasil $4,3 \times 10^8$ CFU/ml.

Dari bakteri Konsentrasi 1 (K1) dan Konsentrasi 2 (K2) menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri paling tinggi adalah pada hari ke-4. Pada K1 hari ke-4 jumlah koloni yang tumbuh yaitu 25×10^8 CFU/mL, dan mengalami penurunan

pada hari ke-7 yaitu 6×10^8 CFU/mL dan pada hari ke-14 yaitu $5,3 \times 10^8$ CFU/mL. Sedangkan untuk K2 pada hari ke-4 didapatkan 16×10^8 CFU/ml dan pada hari ke-7 dan hari ke-14 mengalami penurunan yaitu 7×10^8 CFU/mL untuk hari ke-7, dan $4,3 \times 10^8$ CFU/mL pada hari ke-14.

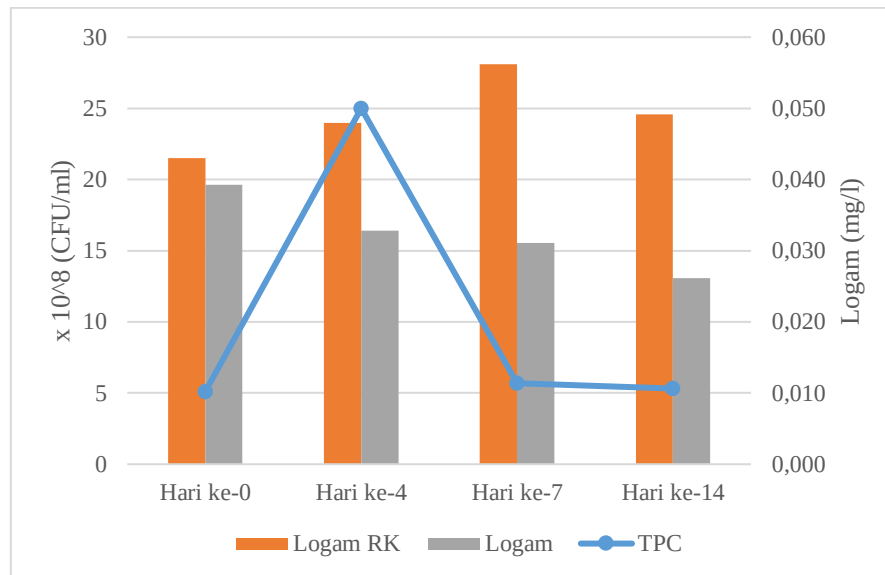
Dalam masa pertumbuhan bakteri faktor yang mempengaruhi pertumbuhan suatu bakteri adalah pemberian nutrisi, serta faktor lingkungan seperti suplai oksigen, pH, dan suhu (Bertranda, 2019). Sedangkan bakteri pada hari ke-7 dan hari ke-14 mengalami penurunan dikarenakan pertumbuhan bakteri terbagi menjadi 4 fase kehidupan, yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian (Septiana, 2016). Sehingga pada hari ke-7 dan hari ke-14 bakteri tersebut sudah masuk ke fase kematian dan mengalami penurunan koloni.

4.3 Hasil Uji Bioremediasi

Pada pengujian ini masing-masing sampel uji diambil pada hari ke-0, 4, 7, dan 14 untuk pengujian logam dan COD. Untuk pengujian BOD dilakukan di hari ke-0, 7, dan 14 dikarenakan untuk pengujian BOD bertujuan untuk membandingkan kandungan BOD di awal dan di akhir saja. Pengujian sampel tersebut diambil dengan masing-masing sampel untuk mengetahui pada waktu tumbuh seberapa konsentrasi uji akan turun atau berkurang .

4.3.1 Analisis Kandungan Logam Cd Setelah Bioremediasi

Parameter pengujian logam kadmium (Cd) adalah parameter paling penting dalam penelitian ini, karena merupakan parameter utama dalam bioremediasi air limbah sisa proses industri tekstil Desa Troso ini. Proses analisis logam ini sudah melewati proses destruksi dan juga pengenceran. Pada dasarnya, logam kadmium bersifat non-biodegradable, yang artinya mereka tidak dapat diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana oleh organisme hidup. Namun, bakteri dapat mengelola logam berat ini melalui berbagai mekanisme yang memungkinkan penghilangan atau stabilisasi logam berat dari lingkungan (Wang & Chen, 2009). Analisis logam Cd K1 dengan persen bakteri 0,5% setelah dilakukan bioremediasi menggunakan bakteri dapat dilihat pada Gambar 4.1

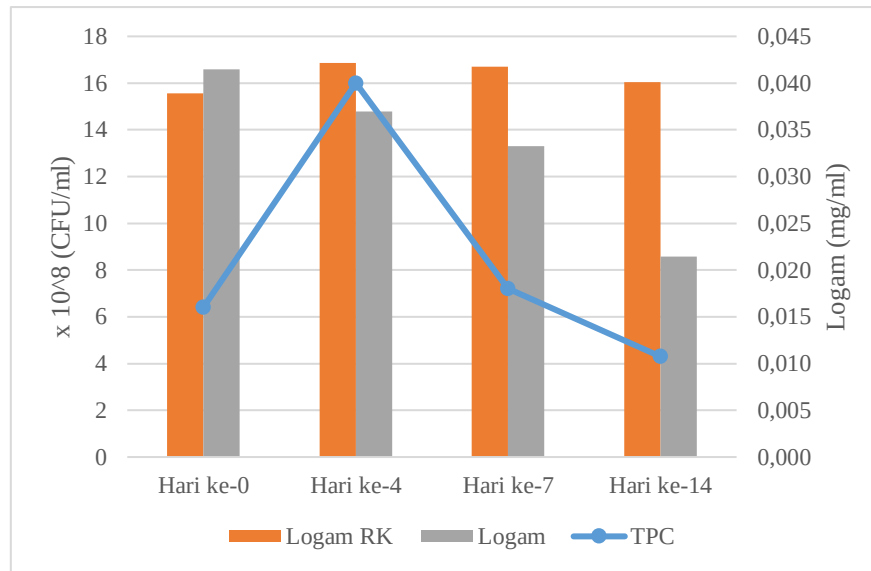


Gambar 4.1 Grafik Penurunan Logam Cd K1 (0,5%)

Dari kurva diatas, ditampilkan bahwa kode RK merupakan Reaktor Kontrol, kode Logam merupakan hasil rata-rata dari ketiga reaktor yang diuji, dan TPC merupakan perhitungan koloni bakteri. Data diatas menunjukkan bahwa Reaktor kontrol yang tidak diberi perlakuan atau mikroorganisme didalam air sampel tersebut mengalami peningkatan pada hari ke-4 dan hari ke-7 yaitu 0,048 mg/l di hari ke-4 dan 0,056 mg/l di hari ke-7, kemudian mengalami penurunan kembali menjadi 0,049 mg/l pada hari ke-14. Hal tersebut dikarenakan beberapa faktor yang dapat terjadi, seperti kontaminasi eksternal dari lingkungan yang dapat meningkatkan kandungan logam, dekomposisi senyawa organik dari air limbah yang membusuk dan kemudian melepaskan logam yang terserap senyawa tersebut, serta penguapan air yang menyebabkan volume air berkurang sementara jumlah logam tetap sama, sehingga saat pengambilan sampel terjadi peningkatan konsentrasi logam (Gupta & Diwan, 2017). Pada ketiga reaktor mengalami penurunan konsentrasi yang cukup signifikan. Dapat dilihat pada konsentrasi rata-rata logam hari ke-0 yaitu 0,039 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan yaitu 0,033 mg/l, kemudian pada hari ke-7 mengalami penurunan dengan rata-rata yang kecil yaitu 0,031 mg/l, dan pada hari ke-14 mengalami penurunan konsentrasi yang cukup tinggi yaitu 0,026 mg/l. Berdasarkan pertumbuhan bakteri pada reaktor dengan konsentrasi 0,5% tersebut dapat dilihat bahwa pada hari ke-7 dan hari ke-

14 bakteri sudah memasuki fase kematian dan mengalami penurunan, akan tetapi konsentrasi logam tersebut tetap turun. Hal ini disebabkan karena sebelum bakteri mengalami fase kematian, bakteri tersebut sudah mengabsorpsi kandungan logam secara optimal (Beveridge, 1976).

Selanjutnya dilakukan pengujian logam Cd K2 dengan persen bakteri sebanyak 0,9% dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut:

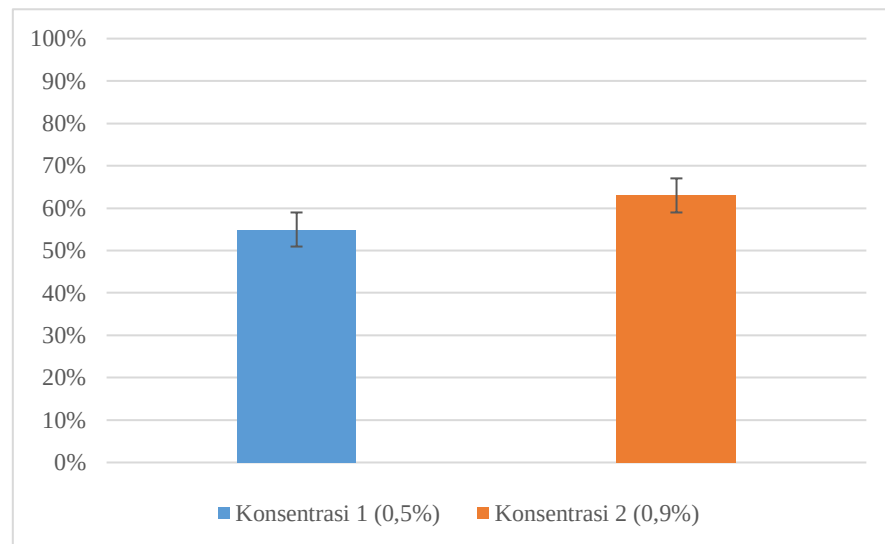


Gambar 4.2 Grafik Penurunan Logam Cd K2 (0,9%)

Pada grafik yang ditampilkan menunjukkan bahwa reaktor kontrol mengalami kenaikan pada hari ke-4 dan stabil pada hari ke-7 serta mengalami penurunan konsentrasi yang cukup kecil pada hari ke-14. Sedangkan untuk rata-rata Logam pada hari ke-0 memiliki konsentrasi sebesar 0,041 mg/l, pada hari ke-4 mengalami penurunan dengan konsentrasi 0,037 mg/l, kemudian pada hari ke-7 mengalami penurunan kembali dengan konsentrasi 0,033 mg/l, dan mengalami penurunan yang cukup tinggi pada hari ke-14 yaitu 0,021 mg/l. Puncak pertumbuhan bakteri konsentrasi 0,9% terdapat pada hari ke-4 dan mengalami penurunan pada hari ke-7 dan ke-14, akan tetapi pertumbuhan tersebut tidak mempengaruhi penyerapan logam oleh bakteri dikarenakan sebelum memasuki fase kematian, bakteri tersebut sudah menyerap logam secara optimal (Beveridge, 1976). Pada tahap awal penurunan logam cenderung turun drastis dikarenakan

tingginya ketersediaan logam pada air limbah dan bakteri. Proses tersebut yang membuat logam lebih mudah terikat dengan adsorben (Wang & Chen, 2015).

Dari kedua kurva tersebut diambil rata-rata penurunan logam dan dilakukan perhitungan efisiensi removal logam Cd oleh bakteri *indigenous* untuk membandingkan antara 2 konsentrasi bakteri yang di uji. Perbandingan kedua konsentrasi tersebut dalam pengamatan 14 hari dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Perbandingan Efisiensi Removal Logam Cd

Dari data diatas menunjukkan bahwa dapat disimpulkan bahwa pada Konsentrasi bakteri 0,5% dapat menurunkan logam sebesar 55% dan pada Konsentrasi bakteri 0,9% dapat menurunkan logam sebesar 63%. Selisih dari kedua konsentrasi tersebut menjelaskan bahwa konsentrasi 0,9% lebih dapat meremediasi logam dengan baik, akan tetapi jumlah konsentrasi bakteri yang lebih banyak tidak selalu berarti dua kali lipat aktivitas penyerapan logamnya (Anwar *et al*, 2016).

Pada analisis kandungan logam Cd ini dilakukan korelasi spearman menggunakan SPSS antara TPC dan logam Cd yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5:

Tabel 4.4 Korelasi antara TPC dan Logam Cd K1 (0,5%)

	TPC	Logam Cd
TPC	1	-0,600
Logam Cd	-0,600	1

Korelasi yang digunakan adalah Spearman dikarenakan korelasi tersebut untuk mengukur hubungan monoton (baik hubungan linear maupun non-linear). Spearman dapat digunakan ketika data menunjukkan tren, apabila satu variabel meningkat maka variabel lain juga cenderung meningkat atau menurun. Koefisien korelasi Spearman adalah -0,600 yang menunjukkan bahwa ada korelasi negatif kuat antara TPC dan Logam Cd. Ketika nilai TPC meningkat, maka nilai Logam Cd cenderung menurun. Nilai p (sig) adalah 0,400 yang artinya ini lebih besar dari 0,05, yang menunjukkan bahwa H_0 diterima dan terjadi korelasi yang tidak signifikan secara statistik pada tingkat signifikansi 5%. Hasil yang tidak signifikan dapat disebabkan oleh jumlah sampel yang sangat kecil cenderung menghasilkan hasil yang tidak representatif atau tidak stabil dari populasi yang lebih besar, dan standar deviasi yang besar juga menunjukkan bahwa terdapat variabilitas yang tinggi di antara nilai-nilai tersebut. Tabel pada Lampiran 6 menunjukkan data TPC didapatkan standar error dan standar deviasi dengan nilai yaitu, Standar Error dengan nilai 0,727 dan Standar Deviasi dengan nilai 1,454. Untuk data Logam Cd didapatkan nilai standar error yaitu 0,00269 dan standar deviasi dengan nilai 0,00538.

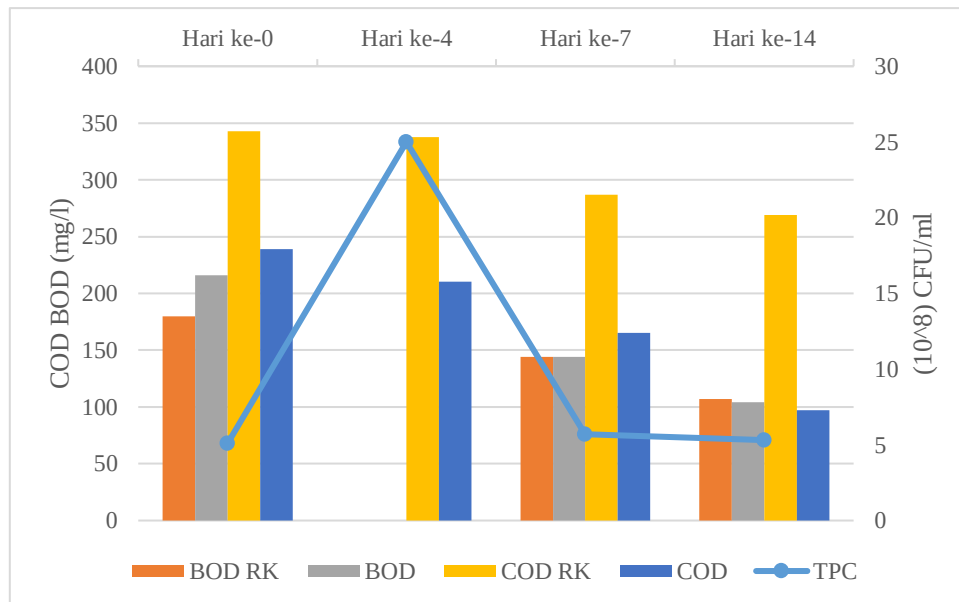
Tabel 4.5 Korelasi antara TPC dan Logam Cd K2 (0,9%)

	TPC	Logam Cd
TPC	1	0,738
Logam Cd	0,738	1

Koefisien korelasi Spearman adalah 0,738, yang menunjukkan bahwa ada korelasi positif kuat antara TPC dan Logam Cd. Apabila nilai TPC mengalami peningkatan, maka nilai Logam Cd cenderung meningkat ataupun sebaliknya. Untuk nilai p (sig) adalah 0,262 yang mana lebih besar dari 0,05. Hal tersebut menunjukkan bahwa H_0 diterima dan menunjukkan korelasi tidak signifikan secara statistik pada tingkat signifikansi 5%. Pada tabel Lampiran 6 didapatkan bahwa standar error untuk TPC adalah 1,179 dan untuk standar deviasi adalah 2,358. Sedangkan untuk logam Cd didapatkan standar error nya yaitu 0,00075 dan standar deviasi nya yaitu 0,00150.

4.3.2 Analisis BOD dan COD Setelah Bioremediasi

Pengambilan sampel BOD dilakukan sebanyak 3 kali pengujian yaitu pada hari ke-0, 7 dan 14. Untuk pengujian DO_0 dilakukan pada hari yang sama, sedangkan untuk DO_5 dilakukan inkubasi selama 5 hari di kulkas inkubator dengan suhu 20°C. Pengujian tersebut hanya diambil di awal dan di akhir dikarenakan sebagai pembanding dengan nilai BOD di awal bakteri dimasukkan ke dalam reaktor dan hari terakhir pengamatan reaktor. Sedangkan untuk pengujian COD dilakukan untuk mengetahui jumlah oksigen dan kandungan organik yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Pengujian sampel COD ini dilakukan pada hari ke-0, 4, 7, dan 14. Pada pengujian COD ini dilakukan selama 14 hari untuk mengetahui apakah terjadi peningkatan dan penurunan nilai COD selama pengamatan dilakukan. Pada pengujian ini sampel air limbah di uji menggunakan 1 kontrol dan 3 pengulangan reaktor yang nantinya dari ketiga reaktor tersebut akan diambil rata-rata, serta menggunakan 2 konsentrasi bakteri yang berbeda yaitu K1 (0,5%) dan K2 2 (0,9%). Pengujian BOD dan COD dengan konsentrasi bakteri 0,5% dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



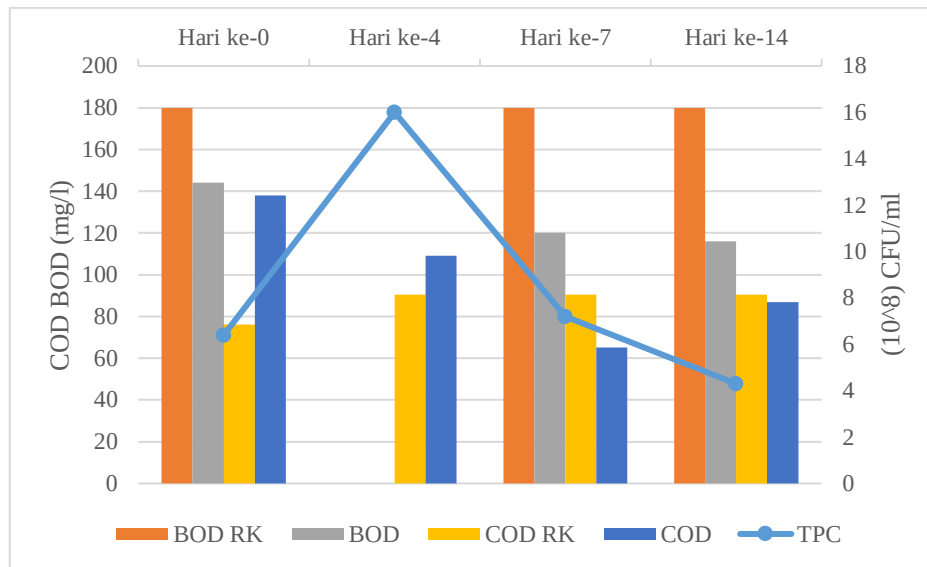
Gambar 4.4 Grafik Penurunan BOD dan COD K1 (0,5%)

Dari data yang ditampilkan menunjukkan bahwa BOD RK atau Reaktor Kontrol juga mengalami penurunan sama seperti BOD yang diberi perlakuan yaitu

pada hari ke-0 dengan konsentrasi sebesar 180 mg/l, hari ke-7 sebesar 144 mg/l dan pada hari ke-14 sebesar 107 mg/l, penurunan ini dapat disebabkan karena beberapa faktor yaitu aktivitas bakteri alami yang meskipun tidak ada penambahan bakteri secara khusus, air limbah secara alami mengandung mikroorganisme yang dapat mendegradasi bahan organik. Serta beberapa reaksi kimia non-biologis, seperti oksidasi bahan organik oleh oksidan yang ada dalam air limbah dapat mengurangi kandungan BOD (Metcalf & Eddy, 2014). Untuk rata-rata nilai BOD yang dihasilkan mengalami penurunan dari hari ke-0 dengan nilai 216 mg/l dan pada hari ke-7 yaitu 144 mg/l serta hari ke-14 yaitu 104 mg/l. Pada pengujian BOD ini hanya dilakukan pada hari ke-0, 7, dan 14 dikarenakan untuk membandingkan kandungan BOD di awal dan di akhir saja. Penurunan kandungan BOD pada reaktor ini mengikuti dengan pertumbuhan bakteri yang diaplikasikan. Walaupun nilai BOD yang dihasilkan masih jauh dari baku mutu yang ada, namun dalam penelitian ini dapat membuktikan bahwa tingginya konsentrasi BOD dapat diturunkan dengan perlakuan tertentu.

Sedangkan untuk pengujian COD dapat dilihat pada COD RK ikut menurun tapi tidak signifikan, hal tersebut karena reaktor kontrol tidak diberi perlakuan. COD RK pada hari ke-0 memiliki konsentrasi sebesar 34300 mg/l, pada hari ke-4 sebesar 33759 mg/l, kemudian pada hari ke-7 sebesar 28708 mg/l, dan pada hari ke-14 sebesar 26904 mg/l. Data yang ditampilkan adalah hasil menurunkan skala dengan faktor 100, dikarenakan untuk mengecilkan notasi pada grafik sehingga ditulis bilangan yang dibagi 100. Untuk penurunan rata-rata konsentrasi COD dapat dilihat pada grafik menunjukkan penurunan yang cukup signifikan yaitu pada hari ke-0 sebesar 23898 mg/l, pada hari ke-4 sebesar 21011 mg/l, kemudian pada hari ke-7 sebesar 16501 mg/l, dan pada hari ke-14 menunjukkan penurunan yang cukup drastis yaitu 9706 mg/l. Nilai COD yang sangat tinggi dapat menunjukkan adanya bahan kimia berbahaya yang tidak dapat diurai oleh bakteri, yang dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri.

Untuk data hasil pengujian BOD dan COD pada K2 dengan bakteri 0,9% dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



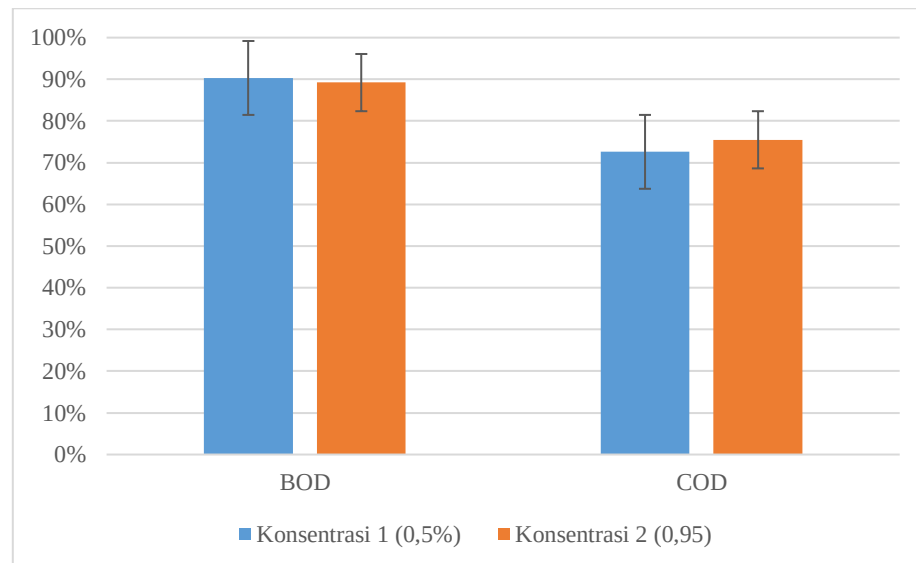
Gambar 4.5 Grafik Penurunan BOD dan COD K2 (0,9%)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada BOD RK dari hari ke-0 hingga hari ke-14 memiliki nilai yang sama yaitu 180 mg/l, yang artinya kontrol tersebut memiliki nilai yang stabil dan menjadikan konsentrasi kontrol konsisten dan akurat untuk dibandingkan dengan reaktor yang diberi perlakuan bakteri. Pada rata-rata konsentrasi BOD Reaktor mengalami penurunan yaitu, pada hari ke-0 sebesar 144 mg/l, kemudian pada hari ke-7 sebesar 120 mg/l, dan pada hari ke-14 mengalami penurunan sebesar 116 mg/l. Pada konsentrasi bakteri 0,9% ini menunjukkan bahwa bakteri dengan konsentrasi tersebut lebih baik dalam meremediasi kandungan BOD. Hal tersebut dikarenakan konsentrasi bakteri yang lebih tinggi berarti jumlah total sel bakteri yang lebih banyak dalam volume yang sama. Dengan lebih banyak sel bakteri yang tersedia, kemampuan untuk mendegradasi bahan organik yang menyebabkan BOD akan meningkat karena ada lebih banyak enzim yang aktif dalam proses biodegradasi (Metcalf & Eddy, 2014).

Pada pengujian COD ditunjukkan bahwa COD RK cenderung lebih kecil nilainya dibandingkan dengan konsentrasi sebelumnya, pada hari ke-0 memiliki konsentrasi sebesar 7602 mg/l, dan pada hari ke-4 hingga hari ke-14 memiliki nilai yang stabil yaitu 9045 mg/l. Angka tersebut merupakan hasil dari penurunan skala dengan faktor 100, dikarenakan untuk mengecilkan notasi pada grafik sehingga ditulis bilangan yang dibagi 100. Kemudian untuk rata-rata konsentrasi COD

mengalami penurunan hingga hari ke-7 dan mengalami kenaikan pada hari ke-14. Pada hari ke-0 didapatkan konsentrasi sebesar 13795 mg/l, pada hari ke-4 didapatkan hasil 10909 mg/l, kemudian pada hari ke-7 sebesar 6519 mg/l, dan pada hari ke-14 mengalami kenaikan sebesar 8684 mg/l. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh kondisi reaktor yang kekurangan oksigen atau adanya senyawa toksik dapat menyebabkan kematian bakteri dan pelepasan bahan organik dari sel-sel yang mati, sehingga meningkatkan konsentrasi COD (Rittmann & McCarty, 2001).

Setelah dilakukan pengujian BOD dan COD pada K1 (0,5%) dan K2 (0,9%) maka dilakukan perbandingan efisiensi removal BOD dan COD pada kedua konsentrasi tersebut. Efisiensi removal BOD dan COD setelah dilakukan pengujian dengan bakteri *Indigenous* dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Efisiensi Removal BOD dan COD oleh Bakteri *Indigenous*

Dari data efisiensi removal tersebut, didapatkan bahwa konsentrasi bakteri 0,5% dapat menurunkan kadar BOD sekitar 90% dan kadar COD sebesar 73%. Sedangkan untuk konsentrasi bakteri 0,9% dapat menurunkan kadar BOD sekitar 89% dan kadar COD sebesar 75%. Dari data tersebut diketahui bahwa bakteri *indigenous* dapat meremediasi kandungan BOD lebih optimal dibandingkan kadar COD dalam air limbah.

Pada analisis kandungan BOD ini dilakukan korelasi spearman menggunakan SPSS antara TPC dan BOD yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7:

Tabel 4.6 Korelasi antara TPC dan BOD K1 (0,5%)

	TPC	BOD
TPC	1	-0,500
BOD	-0,500	1

Koefisien korelasi Spearman untuk K1 adalah -0,500, yang menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif sedang antara TPC dan BOD. Apabila nilai TPC meningkat maka nilai BOD cenderung menurun. Kemudian nilai p (sig) didapatkan 0,667. Ini lebih besar dari 0,05, yang menunjukkan bahwa H_0 diterima dan korelasi antara TPC dan BOD tidak signifikan secara statistik pada tingkat signifikansi 5%. Pada Lampiran 6 didapatkan statistik deskriptif dari dua variabel tersebut. Untuk TPC didapatkan standar eror yang bernilai 0,727 dan standar deviasi yang bernilai 1,454. Sedangkan untuk BOD didapatkan standar eror yaitu 32,768 dan standar deviasi 56,756.

Tabel 4.7 Korelasi antara TPC dan BOD K2 (0,9%)

	TPC	BOD
TPC	1	0,500
BOD	0,500	1

Hasil korelasi Spearman antara TPC dan BOD menunjukkan bahwa koefisien korelasi Spearman sebesar 0,500. Hal ini mengindikasikan adanya korelasi positif yang sedang antara kedua variabel tersebut. Ketika nilai TPC meningkat, maka nilai BOD juga cenderung meningkat. Namun, nilai p-value sebesar 0,667 menunjukkan bahwa H_0 diterima dan korelasi ini tidak signifikan secara statistik pada tingkat signifikansi konvensional (misalnya, $\alpha = 0.05$). Jumlah sampel yang digunakan untuk TPC adalah 4, sedangkan untuk BOD adalah 3, yang merupakan jumlah sampel yang sangat kecil dan dapat mempengaruhi hasil korelasi. Untuk standar deviasi TPC seperti yang ditampilkan pada Lampiran 6 adalah 2,35850 dan standar error untuk TPC adalah 1,17925, yang mengindikasikan ketidakpastian dalam estimasi rata-rata sampel. Nilai yang lebih kecil dari standar

deviasi menunjukkan bahwa estimasi rata-rata tersebut cukup stabil. Untuk BOD, standar deviasi adalah 15,14376 dan standar eror untuk BOD adalah 8,74325 yang juga mengindikasikan ketidakpastian dalam estimasi rata-rata sampel.

Pada analisis kandungan COD ini dilakukan korelasi spearman menggunakan SPSS antara TPC dan COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9:

Tabel 4.8 Korelasi antara TPC dan COD K1 (0,5%)

	TPC	COD
TPC	1	-0,600
COD	-0,600	1

Nilai korelasi Spearman sebesar -0.600 menunjukkan adanya korelasi negatif yang kuat antara TPC dan COD. Hal ini menunjukkan bahwa ketika nilai TPC meningkat, maka nilai COD cenderung menurun. Sedangkan untuk nilai p-value sebesar 0.400 menunjukkan bahwa korelasi tersebut tidak signifikan secara statistik pada tingkat signifikansi konvensional (misalnya, $\alpha = 0.05$). Jumlah sampel (N) yang sangat kecil yaitu 4, membuat hasil korelasi ini sangat terbatas dan tidak kuat. Dengan jumlah sampel yang sangat kecil, hasil korelasi mungkin tidak mewakili populasi secara keseluruhan. Berdasarkan Lampiran 6, didapatkan standar eror, standar deviasi, dan korelasi antara TPC dan COD. Standar eror yang didapatkan untuk TPC adalah 0,727 dan standar deviasi yang didapatkan 1,454. Kemudian untuk standar eror COD didapatkan nilai 3091,58 dan standar deviasi dengan nilai 6183,16.

Tabel 4.9 Korelasi antara TPC dan COD K2 (0,9%)

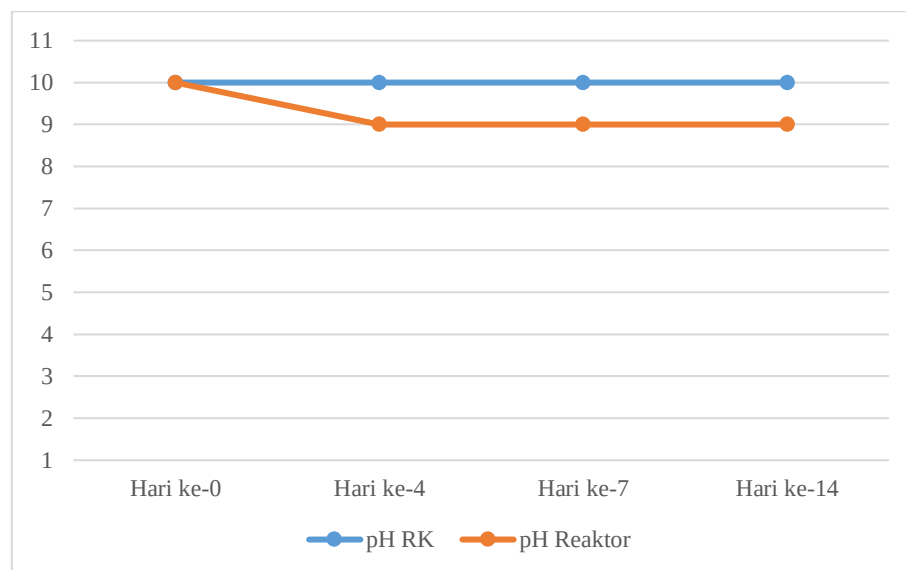
	TPC	COD
TPC	1	-0,800
COD	-0,800	1

Analisis korelasi antara TPC dan COD menunjukkan bahwa koefisien korelasi Spearman adalah -0,800. Hal ini mengindikasikan adanya korelasi negatif yang sangat kuat antara kedua variabel tersebut. Apabila nilai TPC meningkat, maka nilai COD cenderung menurun, begitu pula sebaliknya. Namun, nilai p-value sebesar 0,200 menunjukkan bahwa H_0 diterima dan korelasi ini tidak signifikan

secara statistik pada tingkat signifikansi konvensional (misalnya, $\alpha = 0.05$). Pada Lampiran 6 didapatkan standar error TPC yaitu 2,49182 yang menunjukkan ketidakpastian dalam estimasi rata-rata sampel. Sedangkan untuk standar deviasi TPC sebesar 4,98364 mengindikasikan variasi data di sekitar rata-rata. Untuk standar error COD sebesar 15,56582 dan standar deviasi COD yang tinggi sebesar 31,13163 yang menunjukkan variasi yang besar di antara nilai-nilai COD.

4.3.3 Analisis pH dan Suhu Setelah Bioremediasi

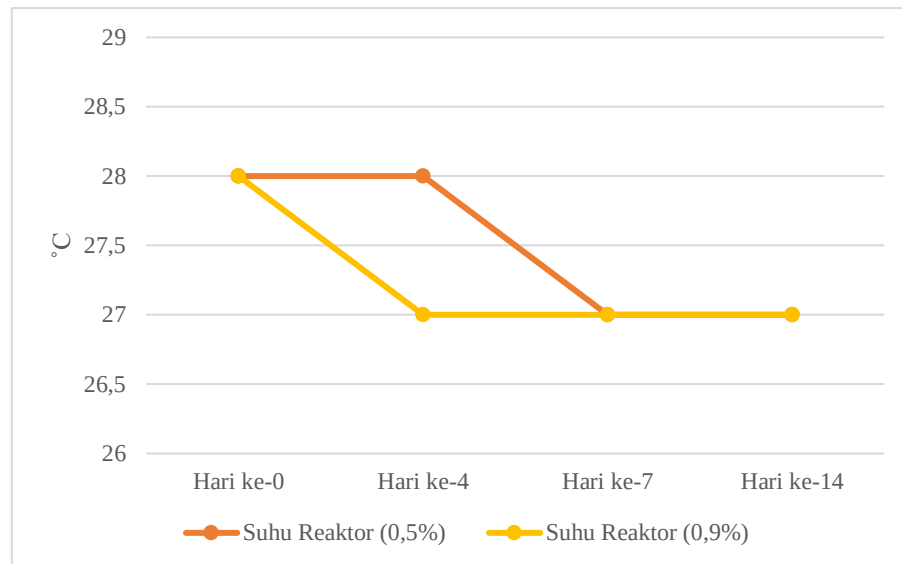
Pengujian pH dan suhu ini untuk mengukur kualitas air sampel limbah industri tekstil setelah diberi perlakuan, masing-masing parameter akan diberi bakteri dengan konsentrasi 0,5% dan 0,9%. Pengukuran sampel dilakukan pada hari ke-0, 4, 7, dan 14. Data pengamatan pH dan suhu K1 (0,5%) dan K2 (0,9%) dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 berikut:



Gambar 4.7 Grafik Pengujian pH K1 dan K2

Dari grafik diatas, didapatkan bahwa pH RK (Reaktor Kontrol) pada hari ke-0 hingga hari ke-14 di semua konsentrasi adalah 10. Pada hari ke-0 di kedua konsentrasi juga memiliki nilai ph yang sama yaitu 10. Sedangkan pada hari ke-4 hingga hari ke-14 nilai pH di semua reaktor dan semua konsentrasi memiliki nilai yang sama yaitu 9. Data tersebut menunjukkan bahwa pada semua reaktor dan konsentrasi menunjukkan penurunan pada hari ke-4. Hal ini disebabkan oleh

perubahan kondisi lingkungan seperti suhu dan ketersediaan oksigen dapat mempengaruhi aktivitas mikroba dan metabolisme, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi pH dalam reaktor. Dari hari ke-0 hingga hari ke-14, pH semua reaktor dan konsentrasi bersifat basa. Apabila nilai pH dibandingkan dengan air limbah *Pure* maka nilai pH tersebut mengalami penurunan, dikarenakan pH limbah *Pure* adalah 11.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Suhu K1 dan K2

Pada data yang ditunjukkan, memperlihatkan bahwa suhu pada hari ke-0 hingga hari ke-4 reaktor kontrol dan reaktor K1 (0,5%) memiliki nilai yang sama yaitu 28°C. Kemudian pada hari ke-7 hingga hari ke-14 mengalami penurunan suhu menjadi 27°C. Sedangkan untuk reaktor kontrol dan reaktor K2 (0,9%) pada hari ke-0 memiliki nilai 28°C dan mengalami penurunan pada hari ke-4 hingga hari ke-14 yaitu 27°C. Perubahan suhu, baik peningkatan maupun penurunan dapat mempengaruhi mikroorganisme yang terbiasa hidup di suhu alami, selain itu suhu juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam air (Handayani, 2012).

Hubungan antara pH dan suhu dalam reaktor air limbah sangat penting karena keduanya mempengaruhi laju pertumbuhan bakteri. pH yang tepat sangat krusial untuk aktivitas enzimatis bakteri, yang berpengaruh pada proses penguraian bahan organik di dalam air limbah. Misalnya, bakteri nitrifikasi optimal bekerja

pada pH antara 7,5 dan 8,5 (Metcalf & Eddy, 2014). Ketika pH terlalu rendah atau terlalu tinggi, aktivitas bakteri dapat menurun drastis, sehingga menghambat laju penguraian bahan organik (Grady et al., 2011).

Suhu juga memainkan peran penting dalam reaktor air limbah. Bakteri memiliki suhu optimal untuk pertumbuhan, biasanya berkisar antara 20°C hingga 35°C (Gerardi, 2002). Pada suhu ini, aktivitas enzimatis dan metabolisme bakteri mencapai puncaknya, yang meningkatkan laju degradasi bahan organik (Tchobanoglous et al., 2003). Jika suhu terlalu rendah, aktivitas bakteri menurun karena reaksi enzimatis berjalan lebih lambat. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim dan mematikan bakteri (Bitton, 2011).

Kombinasi optimal dari pH dan suhu dalam reaktor air limbah sangat penting untuk memastikan lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas maksimal bakteri (Rittmann & McCarty, 2001). Dengan pengaturan yang tepat, reaktor dapat mencapai efisiensi penguraian bahan organik yang tinggi, yang sangat penting untuk pengolahan air limbah yang efektif (Metcalf & Eddy, 2014).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan, dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penurunan menggunakan bakteri *Indigenous* dengan Konsentrasi 0,5% dapat menurunkan kadar logam Cd sebesar 55%, kadar BOD sebesar 90%, dan kadar COD sebesar 73%. Sedangkan hasil penurunan bakteri *Indigenous* Konsentrasi 0,9% dapat menurunkan kadar logam Cd sebesar 63%, kadar BOD sebesar 89%, dan kadar COD sebesar 75%.
2. Bakteri *Indigenous* hasil isolat tanah TPA Piyungan mampu menunjukkan efektivitas dalam menurunkan kandungan logam kadmium (Cd), BOD, dan COD dalam air limbah tekstil di Desa Troso walaupun belum sesuai dengan baku mutu yang ditentukan. Penggunaan bakteri ini diharapkan dapat menjadi solusi yang berpotensi untuk mengurangi pencemaran logam berat dalam air limbah, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

5.1 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang optimasi kondisi lingkungan (pH, suhu, nutrien, dan kondisi aerob atau anaerob) yang dapat mempengaruhi efektivitas bakteri dalam proses bioremediasi.
2. Meneliti interaksi antara bakteri yang digunakan dengan mikroorganisme lain yang dapat mempengaruhi proses bioremediasi dalam air limbah.
3. Mempelajari parameter apa saja yang paling ideal untuk diremediasi oleh bakteri yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. dan Guan, C.T., 2004. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes. *Global Nest the Int. J.* 6: 222-230.
- Anwar, J., Shafique, U., Waheed-uz-Zaman, Salman, M., Dar, A., & Anwar, S. (2016). Removal of Pb(II) and Cd(II) from Water by Adsorption on Peels of Banana. *Bioresource Technology*, 101(6), 1752-1755.
- Arifiani, N., & Ethica, S. N. (2018). Isolasi Bakteri Penghasil Lipase dan Protease yang Berpotensi sebagai Agen Bioremediasi dari Limbah Biomedis Cair Puskesmas Halmahera Kota Semarang Isolation of Lipase- and Protease-Producing Bacteria Potential as Bioremediation Agent from Liquid Biomedic. 1, 268–275.
- Asrori, Zaenal A., dan Noor S. 2016. ibPE Pada Industri Tenun Troso, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Terapan Riset Inovatif*.
- Atlas, R. M., & Bartha, R. (1998). *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications* (4th ed.). Benjamin Cummings.
- Banerjee, A., Jharia, M. K., Yadav, D. K., & Raj, A. (2018). *Micro-remediation of Metals: A New Frontier in Bioremediation. In Handbook of Environmental*
- Batubara, U. M., Susilawati, I. O., & Riany, H. (2015). Isolasi dan karakterisasi bakteri indigenous tanah di kawasan kampus Universitas Jambi. *SEMIRATA* 2015, 4(1).
- Baxi, N.N., Patel, S., & Hansoti, D. (2019). An *Arthrobacter citreus* strain suitable for degrading ϵ -caprolactam in polyamide waste and accumulation of glutamic acid. *AMB Express*, 9, 161. doi: 10.1186/s13568-019-0887-1.
- Bertranda, R. L. (2019). Lag phase is a dynamic, organized, adaptive, and evolvable period that prepares bacteria for cell division. *Journal of Bacteriology*, 201(7). <https://doi.org/10.1128/JB.00697-18>
- Beveridge, T. J., & Murray, R. G. E. (1976). Uptake and retention of metals by cell walls of *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*, 127(3), 1502-1518.

- Bitton, G. (2011). *Wastewater Microbiology*. John Wiley & Sons.
- Burkinshaw, S. M., & Salihu, M. F. (2017). An Overview of Textile Wastewater Characteristics and Challenges in Biological Treatment. *Journal of Environmental Management*, Vol. 161, 565-580.
- Cao J., Sangandayo E., Liu W., Zhang W., Liu Y. 2019. Decolorization and detoxification of Direct Blue 2B by indigenous bacterial consortium. *Journal of Environmental Management* 242 (2019) 229–237
- Chanova, K, Sladekova, D, Harichova, J, Puskarova, A, Polek, B, Feriang P., (2004). Identification and characterization of eight cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium contaminated sewage sludge. *Biologia, Bratislava* 59/6: 817-827
- Darmono, 1995. *Logam Dalam Biologi Makhluk Hidup*. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press), Jakarta.
- Daroini, D. (2023). Analisis BOD (Biochemical Oxygen Demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*. Universitas Trunojoyo Madura. Diakses dari journal.trunojoyo.ac.id.
- Dewa, R. P. & Hadinoto, S., (2015). Analisa Kandungan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Air Minum Dalam Kemasan Di Kota Ambon, *Majalah BIAM*, 11(2), 76–82
- Eskani, *et al.* 2005. Efektivitas Pengolahan Air Limbah Batik dengan Cara Kimia dan Biologi. *Dinamika Kerajinan dan Batik*: Volume 22
- Fulekar, Madhusudan & Sharma, Jaya & Tendulkar, Akalpita. (2012). Bioremediation of heavy metals using biostimulation in laboratory bioreactor. *Environmental monitoring and assessment*. 184. 10.1007/s10661-011-2499-3.
- Gandjar, I. (2006). *Mikrobiologi dasar dan terapan*. Yayasan Obor Indonesia
- Gerardi, M. H. (2002). Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process. John Wiley & Sons.
- Grady, C. P. L., Daigger, G. T., Love, N. G., & Filipe, C. D. M. (2011). *Biological Wastewater Treatment*. CRC Press.

- Gupta, P., & Diwan, B. (2017). Bacterial Exopolysaccharide Mediated Heavy Metal Removal: A Review on Mechanism, Biosynthesis, and Remediation Strategies. *Biotechnology Reports*, 13, 58-71.
- Hammer, M. J., & Hammer Jr, M. J. (2012). *Water and waste water technology*. Prentice Hall.
- Hassen, A., Saidi, N., Cherif, M. and Boudabous, A. (1998). Effect of heavy metals on *Pseudomonas aeruginosa* and *B. thuringiensis*. *Biores. Technol.* 65, p73-82
- Ida Nurdalia. (2006). Kajian dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Usaha Kecil Batik Cap. Tesis. Semarang: Program Pascasarjana UNDIP.
- Jiang, Y., Zhang, W., Yang, J., & Li, C. (2018). Effect of bacterial concentration on biodegradation efficiency of petroleum hydrocarbons in contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 218, 151-158.
- Kasam, Y. 2009. *Penurunan COD dalam Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Filter Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa*. Jurnal Logika, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII. Vol.2(2).
- Kohlmann, F.J., 2003, What is pH, and How is it Measured, U.S.A, Heach Company.
- Komarawidjaja, Wage. 2007. Peran Mikroba Aerob Dalam Pengolahan Limbah Cair Tekstil. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol.8, No.3, Hal 223-228
- Krishnamurthi, V.R., Niyonshuti, I.I., Chen, J., & Wang, Y. (2021). A new analysis method for evaluating bacterial growth with microplate readers. *PLOS ONE*, 16(1), 0245205. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245205>
- Malik, A. (2004). Metal bioremediation through growing cells. *J. Environment International*, 30: 261-278
- Manahan S.E. 2001. Water Pollution, In *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Second(ed.).CRC Press Lewis Pub. Boca Raton. Florida.1003p.
- Masduqi, A, Slamet, A. 2009. Satuan Operasi untuk Pengolahan Air. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.

- Maulana, A., Supartono, & Mursiti, S. (2017). *Bioremediasi Logam Pb pada Limbah Tekstil dengan Staphylococcus aureus dan Bacillus subtilis*. Indonesian Journal of Chemical Science, 6(3), 256–261.
- Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th Edition. McGraw-Hill Education.
- Mkumbo, S. 2012. *Development of Low Cost Remediation Method for Heavy Metal Polluted Soils*. Thesis, Royal Institute of Technology (KTH). Sweden.
- Munawar. (2008). Studi Penggunaan Bakteri Indigen Petrofilik Dalam Proses Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Wilayah Sumatera Bagian Selatan. *Jurnal Kimia Lingkungan*. 16(2): 3–10.
- Nazla, C.T.F. (2021). Bioremediasi Besi (Fe) Oleh *Bacillus Sp.* Dari Sedimen Sungai Krueng Aceh.
- Nies, D.H. (2003). Efflux mediated heavy metal resistance in prokaryotes. *FEMS Microbiol Rev.* 27, p313- 339
- Octavia, B. 2010. Kajian Kekayaan Bakteri Indigenous Indonesia untuk Bioremediasi Limbah. Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Palar H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta. Rineka Cipta.
- Pambudi, I. N. (2020). Perubahan Parameter Fisika Pada Proses Biodegradasi Limbah Tenun Oleh Bakteri Endofit. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.
- Park, J. H., Paneerselvan, P., Choppala, G., Bolan, N., & Chung, J. W. (2011). Role of Organic Amendments of Enhanced Bioremediation of Heavy Metalloid Contaminated Soil. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), 540–574.
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38–48.
- Qothrunnada, E.S. (2023). Potensi Bakteri Indigenous Dari Tanah Tpa Piyungan Dalam Bioremediasi Larutan Logam Timbal (Pb). Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.
- Rachmawati, S. (2017). Analisis Penurunan Kadar COD Air Limbah Industri. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 64-68.

- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2001). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill Education.
- Riyadi, A.H. (2023). *Potensi Bakteri Indigenous Dari Tanah Tpa Piyungan Untuk Bioremediasi Larutan Logam Kadmium (Cd)*. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.
- Sabdaningsih A, Budiharjo A, dan Kusdiyantini E. 2013. Isolasi dan Karakterisasi Morfologi Koloni Bakteri Asosiasi Alga Merah (Rhodophyta) dari Perairan Kutuh Bali. *Jurnal Biologi*, 2(2): 11–17.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., and Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, Fifth Editon. New York, McGrawHill.
- Singh, R. P., Singh, P. K., & Singh, R. L. 2014. Bacterial Decolorization of Textile Azo Dye Acid Orange by *Staphylococcus Hominis* RMLRT03. *Toxicology International*. Vol. 21, No. 2. Page 160–166.
- Smith, J., Doe, J., & Johnson, A. (2016). "The role of dissolved oxygen in bacterial respiration". *Journal of Microbial Ecology*, 28(3), 215-228.
- SNI-06.6989.14.2009, Air dan Air Limbah – Bagian 14 Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida).
- SNI-06.6989.23.2005, Air dan Air Limbah – Bagian 23 Cara Uji Suhu dengan Termometer.
- SNI-6989.02.2019, Air dan Air Limbah – Bagian 2 Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri.
- SNI-6989.11.2019, Air dan Air Limbah – Bagian 11 Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan mwnggunakan pH meter.
- SNI-6989.11.2019, Air dan Air Limbah – Bagian 84 Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala.
- SNI-6989.72.2009, Air dan Air Limbah – Bagian 72 Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD).

- Spellman, F. R. (2008). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. CRC Press.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press, Jakarta
- Suhendrayatna, 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. Seminar Bioteknologi. Tokyo: Sinergi Forum Institut of Technology.
- Sutanto, A. (2011). Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Nanas Oleh Bakteri Indigen. *El-Hayah*, 1(4), 151–156.
- Sutrisno, & Kuntastyuti, H. (2015). Pengelolaan Cemaran Kadmium Pada Lahan Pertanian Di Indonesia. *Buletin Palawija*, 13(1), 83–91. <https://doi.org/10.21082/bulpa.v13n1.2015.p83-91>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
- Tiquia-Arashiro, S. M. (2018). Lead absorption mechanisms in bacteria as strategies for lead bioremediation. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(13), 5437-5444.
- Vesilind, P.A., & Worrell, W. (2002). "Wastewater Treatment Plant Design". Water Environment Federation.
- Wahyuningsih, N., & Zulaika, E. (2019). Perbandingan Pertumbuhan Bakteri Selulolitik pada Media Nutrient Broth dan Carboxy Methyl Cellulose. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 7–9. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.36283>
- Waluyo, L. (2005). *Mikrobiologi Lingkungan*. UMM Press.
- Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195-226.
- Wetzel, R.G. (2001). "Limnology: Lake and River Ecosystems". Academic Press.
- Wijayanti, T., dan Lestari, D.E.G. 2017. Bioremediasi Limbah Tercemar Kadmium (Cd) Pada Perairan di Kabupaten Pasuruan Menggunakan Bakteri Indigen Secara Ex-situ. *Jurnal Pena Sains. IKIP Budi Utomo, Malang*. Vol. 4(2).

- Yilmaz, M., Soran, H. dan Beyatli, Y. 2005. Determination of Poly- β -hydroxybutyrate (PHB) Production by some *Bacillus* spp. *World J. Microbiology & Biotechnology*, 21: 565–566.
- Zahoor, A., & Rehman, A. (2009). Isolation of Cr(VI) reducing bacteria from industrial effluents and their potential use in bioremediation of chromium containing wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, 21(6), 814–820.
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62346-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62346-3)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri Menggunakan Metode TPC

Konsentrasi 1 (0,5%)				
Hari	Pengenceran	Koloni	Jumlah Koloni	TPC (CFU/mL)
Hari ke-0	10^6	57	60	5,10E+08
	10^6	63		
	10^7	27	42	
	10^7	42		
Hari ke-4	10^6	203	251	2,50E+09
	10^6	298		
	10^-7	208	250	
	10^-7	292		
Hari ke-7	10^-6	66	66	5,70E+08
	10^-6	15		
	10^-7	48	48	
	10^7	10		
Hari ke-14	10^-6	80	77	5,38E+08
	10^-6	73		
	10^-7	20	31	
	10^7	31		

Konsentrasi 2 (0,9%)				
Hari	Pengenceran	Koloni	Jumlah Koloni	TPC (CFU/mL)
Hari ke-0	10^6	52	52	6,45E+08
	10^6	5		
	10^7	83	77	
	10^7	71		
Hari ke-4	10^6	161	150	1,63E+09
	10^6	139		
	10^-7	170	176	
	10^-7	182		
Hari ke-7	10^-6	79	83	7,20E+08
	10^-6	87		
	10^-7	61	61	
	10^7	19		
Hari ke-14	10^-6	69	56	4,30E+08
	10^-6	43		
	10^-7	30	30	
	10^7	19		

Lampiran 2 Hasil Pengujian OD

Cek OD (Optical Density) Konsentrasi 0,5%				
Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-7	Hari ke-14
Kontrol	0,167	0,155	0,174	0,168
1	0,126	0,089	0,139	0,306
2	0,071	0,074	0,102	0,367
3	0,071	0,071	0,179	0,34

Cek OD (Optical Density) Konsentrasi 0,9%				
Reaktor	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-7	Hari ke-14
Kontrol	0,127	0,134	0,112	0,158
1	0,079	0,098	0,269	0,392
2	0,046	0,092	0,209	0,388
3	0,042	0,055	0,159	0,371

Lampiran 3 Hasil Pengujian Logam Cd

Data Konsentrasi Cd (0,5%)					
Hari ke-0 (17 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,043	0,0105	0,043		0,043
Reaktor 1	0,039	0,0094	0,038		0,038
Reaktor 2	0,041	0,01	0,041		0,041
Reaktor 3	0,039	0,0094	0,038		0,038
Rata-rata					

Data Konsentrasi Cd (0,5%)					
Hari ke-4 (21 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,048	0,0117	0,048		0,048
Reaktor 1	0,035	0,0084	0,034		0,034
Reaktor 2	0,031	0,0075	0,031		0,031
Reaktor 3	0,033	0,0082	0,034		0,034
Rata-rata					0,04

Data Konsentrasi Cd (0,5%)					
Hari ke-7 (24 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,056	0,0137	0,056		0,056
Reaktor 1	0,03	0,0075	0,031		0,031
Reaktor 2	0,03	0,0072	0,029		0,029
Reaktor 3	0,033	0,0081	0,033		0,033
Rata-rata					0,04

Data Konsentrasi Cd (0,5%)					
Hari ke-14 (2 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,049	0,012	0,049		0,049
Reaktor 1	0,024	0,0059	0,024		0,024
Reaktor 2	0,026	0,0064	0,026		0,026
Reaktor 3	0,028	0,0069	0,028		0,028
Rata-rata					0,03

Data Konsentrasi Cd (0,9%)					
Hari ke-0 (3 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,039	0,0095	0,039		0,039
Reaktor 1	0,04	0,0098	0,040		0,040
Reaktor 2	0,044	0,0107	0,044		0,044
Reaktor 3	0,041	0,0099	0,041		0,041
Rata-rata					0,04

Data Konsentrasi Cd (0,9%)					
Hari ke-4 (7 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,042	0,0103	0,042		0,042
Reaktor 1	0,036	0,0086	0,035		0,035
Reaktor 2	0,037	0,0091	0,037		0,037
Reaktor 3	0,039	0,0094	0,038		0,038
Rata-rata					0,04

Data Konsentrasi Cd (0,9%)					
Hari ke-7 (10 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,042	0,0102	0,042		0,042
Reaktor 1	0,031	0,0076	0,031		0,031
Reaktor 2	0,033	0,0082	0,034		0,034
Reaktor 3	0,034	0,0086	0,035		0,035
Rata-rata					0,04

Data Konsentrasi Cd (0,9%)					
Hari ke-14 (24 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi logam Cd (mg/L)
Blanko	-0,002	-0,0004	- 0,00	1	- 0,00
Kontrol	0,04	0,0098	0,040		0,040
Reaktor 1	0,016	0,0039	0,016		0,016
Reaktor 2	0,02	0,0048	0,020		0,020
Reaktor 3	0,029	0,0071	0,029		0,029
Rata-rata					0,02

Lampiran 4 Hasil Pengujian BOD

Cek BOD (Biological Oxygen Demand) Konsentrasi 0,5%									
Reaktor	Hari ke-0			Hari ke-7			Hari ke-14		
	DO 0	DO 5	BOD	DO 0	DO 5	BOD	DO 0	DO 5	BOD
Kontrol	8,980	7,902	180	8,98	7,54	144	8,98	7,18	108
1	7,543	6,824	216	8,26	7,90	251	7,18	6,47	216
2	7,543	6,465	180	7,90	5,75	72	7,54	7,18	251
3	8,620	8,261	251	9,34	7,54	108	6,82	5,39	144

Cek BOD (Biological Oxygen Demand) Konsentrasi 0,9%									
Reaktor	Hari ke-0			Hari ke-7			Hari ke-14		
	DO 0	DO 5	BOD	DO 0	DO 5	BOD	DO 0	DO 5	BOD
Kontrol	8,98	7,90	180	9,34	8,26	180	7,90	6,82	180
1	8,62	6,82	108	8,98	7,18	108	7,90	7,54	251
2	8,62	7,54	180	9,70	8,26	144	7,54	6,47	180
3	7,90	6,47	144	8,62	6,82	108	8,98	6,47	36

Lampiran 5 Hasil pengujian COD

Data Konsentrasi COD (0,5%)					
Hari ke-0 (17 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	685,204	0,191	686,009		34.300
Reaktor 1	474,045	0,132	473,141		23.657
Reaktor 2	470,966	0,131	469,533		23.477
Reaktor 3	491,542	0,137	491,181		24.559
Rata-rata					23.898

Data Konsentrasi COD (0,5%)					
Hari ke-4 (21 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	674,302	0,188	675,185		33.759
Reaktor 1	373,304	0,104	372,119		18.606
Reaktor 2	429,614	0,12	429,846		1.492
Reaktor 3	457,275	0,128	458,709		22.935
Rata-rata					1.011

Data Konsentrasi COD (0,5%)					
Hari ke-7 (24 Mei 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	575,95	0,16	574,163		28.708
Reaktor 1	280,422	0,079	281,920		14.096
Reaktor 2	350,28	0,098	350,471		17.524
Reaktor 3	356,65	0,1	357,687		17.884
Rata-rata					16.501

Data Konsentrasi COD (0,5%)					
Hari ke-14 (2 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentrasi	fp	Konsentrasi COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	152,115	0,15	538,084		26.904
Reaktor 1	185,989	0,052	184,506		9.225
Reaktor 2	116,042	0,033	115,955		5.798
Reaktor 3	282,33	0,079	281,920		14.096
Rata-rata					9.706

Data Konsentrasi COD (0,9%)					
Hari ke-0 (3 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentras i	fp	Konsentras i COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	150,708	0,043	152,034		7.602
Reaktor 1	262,006	0,073	260,273		13.014
Reaktor 2	267,021	0,075	267,488		13.374
Reaktor 3	300,279	0,084	299,960		14.998
Rata-rata					13.795

Data Konsentrasi COD (0,9%)					
Hari ke-4 (5 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentras i	fp	Konsentras i COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	181,678	0,051	180,898		9.045
Reaktor 1	117,89	0,033	115,955		5.798
Reaktor 2	242,65	0,068	242,233		12.112
Reaktor 3	298,695	0,083	296,352		14.818
Rata-rata					10.909

Data Konsentrasi COD (0,9%)					
Hari ke-7 (10 Juni 2024)					
Sample Label	Conc (µg/ml) (x)	Mean Abs (y)	Konsentras i	fp	Konsentras i COD (mg/L)
Blanko	6943	0,002	4,11	50	4,11
Kontrol	180,592	0,051	180,898		9.045
Reaktor 1	100,271	0,029	101,523		5.076
Reaktor 2	185,712	0,052	184,506		9.225
Reaktor 3	101,784	0,03	105,131		5.257
Rata-rata					6.519

Lampiran 6 Hasil Pengujian Statistik menggunakan SPSS

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi Logam Cd dan TPC K1 (0,5%)							
TPC	4	3,20	2,50	5,70	4,6500	0,72744	1,45488
Logam Cd	4	0,01	0,03	0,04	0,0323	0,00269	0,00538

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi BOD dan TPC K1 (0,5%)							
TPC	4	3,20	2,50	5,70	4,6500	0,72744	1,45488
BOD	3	112	104	216	154,6667	32,76855	56,75679

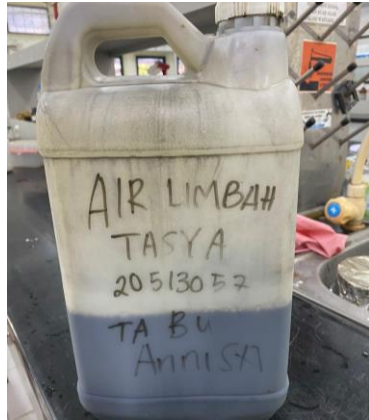
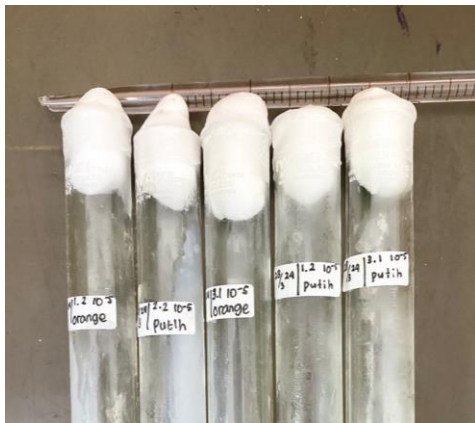
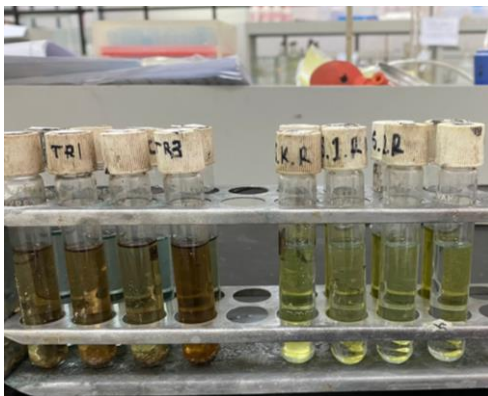
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi COD dan TPC K1 (0,5%)							
TPC	4	3,20	2,50	5,70	4,6500	0,72744	1,45488
COD	4	14192	9706	23898	17779	3091,58263	6183,16526

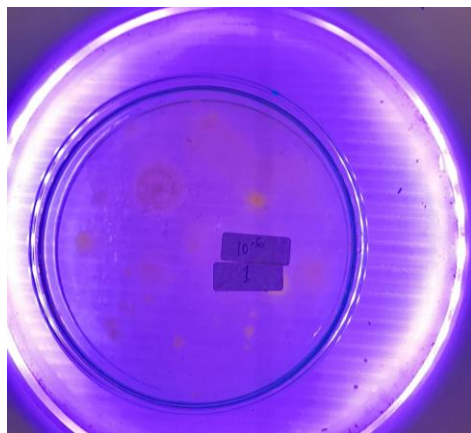
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi Logam Cd dan TPC K2 (0,9%)							
TPC	4	5.70	4,30	10	6,9750	1,17925	2,35850
Logam Cd	4	0	0,04	0,04	0,0408	0,00075	0,00150

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi BOD dan TPC K2 (0,9%)							
TPC	4	5.70	4,30	10	6,9750	1,17925	2,35850
BOD	3	28	116	144	126,6667	8,74325	15,14376

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Error	Std. Deviation
Konsentrasi COD dan TPC K2 (0,9%)							
TPC	4	5.70	4,30	10	6,9750	1,17925	2,35850
COD	4	72,76	65,19	137,95	99,7675	15,56582	31,13163

Lampiran 7 Dokumentasi Selama Penelitian





RIWAYAT HIDUP

Nama penulis pada penelitian Tugas Akhir ini adalah Tasya Amelia Mirtasari yang lahir pada 28 Mei di Magelang, Jawa Tengah. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Ayah penulis bernama Triwanto dan Ibu penulis bernama Nurainy Marwati. Riwayat Pendidikan yang dimiliki penulis yaitu di KB-TK 'Aisyiyah 5 Kreatif Kota Magelang, sekolah dasar di SD Muhammadiyah 1 Alternatif Kota Magelang, kemudian sekolah menengah pertama di SMP Negeri 7 Kota Magelang, sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Kota Magelang, dan meneruskan perkuliahan di Universitas Islam Indonesia pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Penulis memiliki kegiatan aktif di akademik dan luar akademik, yaitu sempat menjadi Asisten Laboratorium Praktikum Teknik Lingkungan II dan Asisten Laboratorium Kimia Lingkungan. Selain itu, penulis turut aktif dalam mengikuti kepanitiaan seperti Lintas Lingkungan 2021 dan Dusun Binaan dibawah Himpunan Teknik Lingkungan.