

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS BAKTERI *ARTHROBACTER CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT KROMIUM HEKSAVALEN (Cr-VI) PADA AIR LINDI DI TPA PIYUNGAN

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



ADAM JANUAR

20513175

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS BAKTERI *ARTHROBACTER CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT KROMIUM HEXAVALEN (Cr-VI) PADA AIR LINDI DI TPA PIYUNGAN

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



ADAM JANUAR
20513175

Disetujui,
Dosen Pembimbing,

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D
NIK. 155130505
Tanggal 16.08.2024

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155130112
Tanggal 20.08.2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal : 20 Agustus 2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN

EFEKTIVITAS BAKTERI *ARTHROBACTER CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT KROMIUM HEKSAVALEN (Cr-VI) PADA AIR LINDI DI TPA PIYUNGAN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 09 Agustus 2024

Disusun oleh :

Adam Januar

20513175

Tim Penguji :

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

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

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

Handwritten signatures and dates of the review team members. The signatures are in blue ink. The dates are written next to the signatures: 16.08.2024, 20/8/24, and 20/8/24.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta,
Yang membuat pernyataan,



Adam Januar
NIM : 20513175

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

1. Allah SWT atas segala nikmat dan berkah yang diberikan kepada penulis;
2. Bapak Suniar dan Ibu Evi Aryani selaku orang tua penulis 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 I yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai;
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing dan memberikan arahan dan semangat serta kritik, saran, dan penilaian terhadap penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini;
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. 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. Teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2020 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan;
9. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

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

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

Yogyakarta,

Adam Januar

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ADAM JANUAR. Efektivitas Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Kromium Hexavalen (Cr-VI) Pada Air Lindi Di Tpa Piyungan Dibimbing Oleh Annisa Nur Lathifah S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. dan Puji Lestari S.Si., M.Sc., Ph.D.

Air lindi adalah masuknya air yang berasal dari eksternal maupun internal yang terdapat pada sampah itu sendiri yang kemudian cairan ini melarutkan berbagai zat yang ada di dalamnya termasuk senyawa berbahaya. TPA atau tempat pemrosesan akhir ini sering kali mengandung zat-zat berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Salah satu parameter penting untuk menilai kualitas air lindi adalah logam berat kromium heksavalen (VI) dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* yang disebabkan oleh limbah yang dibuang masyarakat yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji efektivitas dari bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mendegradasi kromium (VI) zat pencemar organik seperti *COD* yang terdapat pada air lindi di TPA Piyungan. Pengujian bakteri ini dilakukan dengan menginokulasikan bakteri ke dalam reaktor air limbah sebanyak 0,5% (v/v) dan 1% (v/v) dari total air limbah. Hasil dari penelitian ini menunjukkan keberhasilan efektivitas dari masing-masing bakteri dalam mereduksi kromium (VI) yaitu 70,90% dan 72,57%. Sedangkan efektivitas dari masing-masing bakteri dalam mereduksi *COD* yaitu 89,18% dan 89,35%. Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat dijadikan sebagai salah satu agen bioremediator alternatif dalam menurunkan kadar kromium dan *COD* dalam air lindi di TPA Piyungan

Kata kunci: Air lindi, *Arthrobacter chlorophenolicus*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, Kromium (VI)

ABSTRACT

ADAM JANUAR. The Effectiveness of *Arthrobacter chlorophenolicus* Bacteria as a Bioremediation Agent for the Heavy Metal Hexavalent Chromium (Cr-VI) in Leachate at Piyungan Landfill Supervised by Annisa Nur Lathifah S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. and Puji Lestari S.Si., M.Sc., Ph.D.

*Leachate is the entry of air from external or internal sources contained in the waste itself, which then dissolves various substances in it, including hazardous compounds. This landfill or final processing site often contains hazardous substances that can damage the environment and endanger human health. One important parameter for assessing air quality is the heavy metal hexavalent chromium (VI) and Chemical Oxygen Demand (COD) caused by waste that is disposed of by the community containing hazardous and toxic materials (B3). The purpose of this study was to test the effectiveness of *Arthrobacter chlorophenolicus* bacteria in degrading chromium (VI) organic pollutants such as COD found in leachate at the Piyungan landfill. Testing of these bacteria was carried out by inoculating bacteria into a wastewater reactor as much as 0.5% (v/v) and 1% (v/v) of the total waste air. The results of this study showed the effectiveness of each bacteria in reducing chromium (VI) which was 70.90% and 72.57%. Meanwhile, the effectiveness of each bacteria in reducing COD is 89.18% and 89.35%. *Arthrobacter chlorophenolicus* bacteria can be used as an alternative bioremediator agent in reducing chromium and COD levels in leachate at the Piyungan landfill.*

*Keywords: *Arthrobacter chlorophenolicus*, Chemical Oxygen Demand (COD), Chromium (VI), leachate water*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	11
DAFTAR ISI.....	13
DAFTAR TABEL.....	16
DAFTAR GAMBAR.....	18
BAB I PENDAHULUAN.....	22
1.1 Latar Belakang.....	23
1.2 Rumusan Masalah.....	25
1.3 Tujuan Penelitian	25
1.4 Manfaat Penelitian	25
1.5 Ruang Lingkup.....	25
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	27
2.1 Air Lindi.....	28
2.2 Logam Berat.....	28
2.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	30
2.4 Bioremediasi	30
2.5 Bakteri <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	31
2.6 Peneliti Terdahulu.....	32
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	34
3.2 Pengumpulan Data	35
3.3 Kerangka Penelitian	35
3.4 Persiapan Alat dan Bahan	36
3.5 Pengambilan Sampling Air Lindi	37

3.6 Sterilisasi Media.....	39
3.7 Pembuatan Media.....	40
3.8 Kulturasasi Bakteri	42
3.9 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium	44
3.10 Pengoperasian Reaktor.....	45
3.11 Analisis Efisiensi Bakteri dalam Meremoval Kandungan Kromium	46
BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....	48
4.1 Efektivitas Bakteri Dalam Penyisihan Kromium (VI).....	49
4.2 Efektivitas Bakteri Dalam Penyisihan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	51
4.3 Analisis pertumbuhan bakteri	53
4.4 Analisis Pengaruh Parameter pH dan Suhu Terhadap Pertumbuhan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Dalam Mereduksi Cr (VI)	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	63
Lampiran 1 Hasil Pour Plate Bakteri	63
Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar.....	65
Lampiran 3 Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr-VI.....	67
Lampiran 4 Hasil perhitungan COD	67
Lampiran 5 Hasil perhitungan TPC	67
Lampiran 6 Hasil Uji OD.....	68
Lampiran 7 Hasil Uji Nilai pH dan Suhu.....	68
Lampiran 8 Hasil Uji Statistik menggunakan SPSS	70
Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel hasil penelitian bioremediasi menggunakan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	31
Tabel 2. 2 Referensi peneliti terdahulu	32
Tabel 3. 1 Alat dan bahan dalam penelitian	37
Tabel 4. 1 Analisis kemampuan bakteri dalam meremoval kandungan kromium (VI)	49
Tabel 4. 2 Analisis kemampuan bakteri dalam meremoval kandungan Chemical Oxygen Demand (COD)	51
Tabel 4. 3 Jumlah total koloni yang tumbuh pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v)	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lokasi titik sampling air lindi pada TPA Piyungan	34
Gambar 3. 2 Diagram alir metode penelitian	36
Gambar 3. 3 Penentuan lokasi titik sampling air lindi	38
Gambar 3. 4 Proses pengambilan sampel di inlet TPA Piyungan.....	38
Gambar 3. 5 Bagan Alir Pengambilan Sampel.....	39
Gambar 3. 6 Proses Sterilisasi media menggunakan autoclave	40
Gambar 3. 7 Proses penimbangan pembuatan media NA dan NB.....	41
Gambar 3. 8 Proses pembuatan media NA dan NB	41
Gambar 3. 9 Kulturisasi bakteri ke dalam agar miring	42
Gambar 3. 10 Inokulum bakteri ke media NA	43
Gambar 3. 11 Tahapan Inokulasi bakteri ke media NB	43
Gambar 3. 12 Bagan alir reaktor	44
Gambar 3. 13 Tahapan pengujian kromium.....	46
Gambar 4. 1 Perbandingan rata-rata penurunan konsentrasi kromium 0,5% (v/v dan 1% (v/v))	50
Gambar 4. 2 Rata-rata penurunan COD pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1% (v/v)	52
Gambar 4. 3 Perbandingan pertumbuhan bakteri pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v)	54
Gambar 4. 4 (1) Hasil uji rentang nilai pH (2) Hasil uji rentang nilai suhu	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pour Plate Bakteri	63
Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar.....	65
Lampiran 3 Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr-VI.....	67
Lampiran 4 Hasil perhitungan COD	67
Lampiran 5 Hasil perhitungan TPC	67
Lampiran 6 Hasil Uji OD.....	68
Lampiran 7 Hasil Uji Nilai pH dan Suhu.....	68
Lampiran 8 Hasil Uji Statistik menggunakan SPSS	70
Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

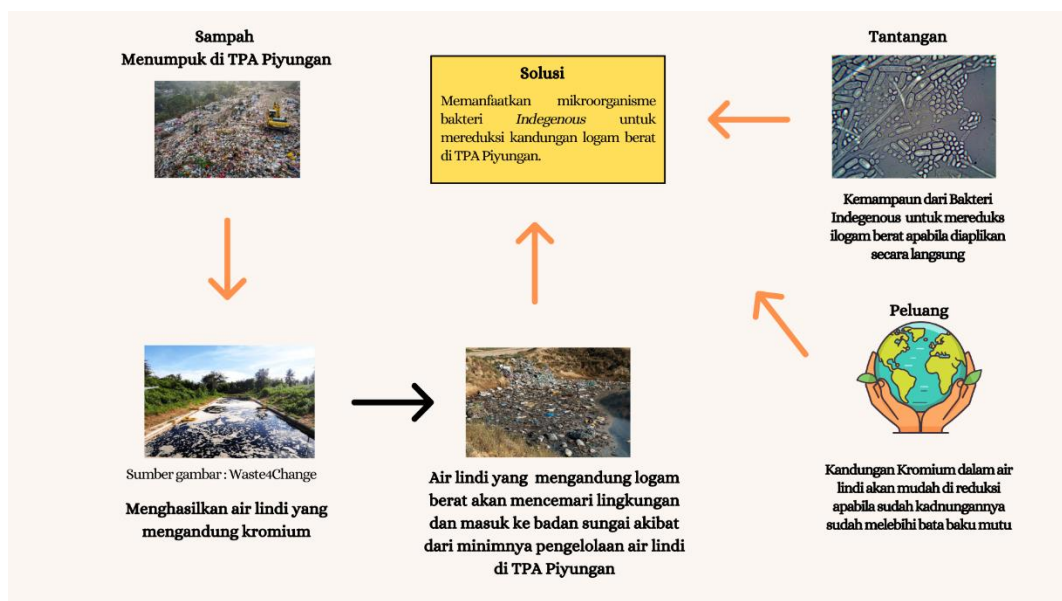
Jumlah masyarakat yang semakin meningkat akan berpengaruh pada jumlah sampah yang dihasilkan oleh masyarakat itu sendiri. Hal ini akan berdampak pada timbunan sampah yang ada di TPA yang mana rasio jumlah sampah yang ada di TPA akan berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah penduduk di suatu daerah (Elyasa, 2020). Di TPA sendiri berbagai jenis sampah mulai dari organik, anorganik dan hingga sampah dari limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Permasalahan yang kompleks dan kebiasaan buruk masyarakat akan mengakibatkan berbagai permasalahan yang timbul mulai dari vektor penyakit, bau yang tidak sedap, estetika, dan pencemaran air serta tanah akibat dari air lindi atau *leachate*.

Air lindi atau *leachate* dapat diartikan adalah masuknya air yang berasal dari eksternal maupun internal yang terdapat pada sampah itu sendiri yang kemudian cairan ini melarutkan berbagai zat yang ada di dalam sampah dan mengalir ke bagian dasar sampah (Said *et al.*, 2018). Air lindi ini dapat berasal dari sampah yang basah ataupun dari rembesan air hujan yang kemudian cairan ini terlarut dan menyebabkan beberapa kandungan organik dan berbahaya lainnya ikut terlarut ke dalam air lindi ini. Air lindi dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan seperti dapat mencemari air permukaan, air tanah dan tanah. Kandungan yang terdapat di dalam air lindi pun sangatlah berbagai seperti kandungan organik *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan logam berat berbahaya Kromium (VI). Apabila logam berat seperti *chromium* (VI) ini sampai masuk ke dalam badan air, maka akan sangat berbahaya bagi kesehatan masyarakat sekitar yang terkena dampak. Menurut (Astuti *et al.*, 2023), air lindi yang ada di TPA Piyungan mencemari sungai Opak yang ada di TPA piyungan, hal ini tentu saja dapat mencemari lingkungan dan dapat terbawa ke hilir dan menyebabkan tercemarnya sungai-sungai yang lain.

Kromium heksavalen (VI) adalah logam berat esensial yang bisa ditemukan secara alami di bumi. Kromium ini berasal dari mineral bebatuan bebatuan dan yang paling banyak menghasilkan jumlah kromium paling banyak adalah antropogenik manusia (Oliveira, 2012). Kromium yang terdapat pada TPA biasanya berasal dari limbah rumah tangga. Kromium yang ada pada TPA ini kemudian terdekomposisi oleh air lindi yang menyebabkan air lindi ini salah satu karakteristiknya mengandung logam non esensial yaitu kromium. Kromium ini salah satu

logam yang berbahaya (*toxic*) apabila mencemari lingkungan dan dapat menyebabkan kanker (Murti & Sugihartono, 2020). Salah satu cara pengelolaan kandungan kromium yang ada pada air lindi di TPA dengan cara bioremediasi air lindi dengan mikroorganisme

Penggunaan mikroorganisme seperti fungi dan bakteri telah banyak dilakukan untuk mengurangi kadar logam berat yang terdapat pada limbah termasuk air lindi. Selain itu, dari segi efektivitas dan biaya operasional yang murah menjadi kelebihan dalam menggunakan mikroorganisme sebagai agen bioremediasi. Salah satu bakteri yang bisa mengurai kandungan logam berat adalah Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*. Menurut (Fatwa *et al.*, 2021), Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* adalah bakteri yang berasal dari tanah atau media pada tempat asal itu ditemukan dan bakteri ini biasanya tersebar di alam bebas. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mengurai logam berat seperti kromium dan bahan pencemar lainnya untuk dijadikan sebagai sumber nutrisi dengan bantuan enzim dari bakteri tersebut (Fatwa *et al.*, 2021).



Gambar 1. 1 Skema Kerangka Berpikir Penelitian Dalam Menyusun Ide dan Konsep Secara Sistematis

Penelitian mengenai Efektivitas *Bakteri Arthrobacter chlorophenolicus* sebagai agen bioremediasi logam berat kromium (Cr) pada air lindi ini diharapkan mampu menjadi salah satu solusi dalam mereduksi kandungan logam berat seperti kromium yang ada pada TPA Piyungan, Dusun Ngablak, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Seberapa efektivitas Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* untuk mengurangi kandungan kromium heksavalen yang ada di TPA Piyungan ?
2. Apakah Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat menurunkan nilai COD pada air lindi di TPA Piyungan?
3. Apakah Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat bertahan hidup pada sampel air lindi di TPA Piyungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis efektivitas bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam meremediasi pada sampel air lindi yang terkontaminasi logam berat kromium heksavalen di TPA Piyungan.
2. Menganalisis efektivitas bakteri dalam meremoval kandungan COD pada air lindi di TPA Piyungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat memberikan informasi kepada masyarakat bahwa Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* yang terdapat pada TPA Piyungan dapat dimanfaatkan untuk mereduksi logam berat kromium heksavalen.
2. Dapat menjadikan sumber referensi pendukung pada penelitian mendatang mengenai Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* terkait kemampuannya yang dapat mereduksi kandungan COD di dalam air lindi TPA Piyungan.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah

1. Logam berat yang diteliti adalah kromium (Cr)
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium
3. Mikroorganisme yang digunakan adalah isolat Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* yang berasal dari TPA Piyungan

4. Analisis dilakukan pada faktor-faktor yang mempengaruhi sampel uji yaitu pH, suhu dan laju pertumbuhan bakteri pada sampel uji
5. Sumber kromium berasal dari air lindi TPA Piyungan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Lindi

Menurut (Said & Hartaja, 2018) air lindi dapat di definisikan masuknya air yang berasal dari eksteral maupun internal yang terdapat pada sampah itu sendiri yang kemudian cairan ini melarutkan berbagai zat yang ada di dalam sampah dan mengalir ke bagian dasar sampah. Sampah yang tidak terpilah umumnya menyebabkan bertambahnya jumlah sampah yang masuk ke TPA seiring dengan bertambahnya sumber sampah, mengakibatkan umur TPA menjadi lebih pendek karena kapasitas ruang TPA yang terbatas. Peningkatan timbunan sampah dapat menyebabkan peningkatan jumlah dan emisi lindi yang dihasilkan sebagai sampah dari operasi TPA (Hartini & Yulianto, 2018). Air lindi yang tidak dikelola dengan baik maka akan dapat mencemari lingkungan terutama pada tanah dan air tanah. Hal ini disebabkan oleh air hujan yang terinfiltrasi yang meresap ke dalam sampah yang melarutkan beberapa kandungan organik maupun organik ke luar menuju timbunan sampah dan pada akhirnya akan terakumulasi pada TPA itu sendiri. Komposisi lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis sampah yang ditimbun, jumlah curah hujan di area, dan kondisi spesifik TPA.

Air lindi yang mengontaminasi air tanah di sekitar TPA akan memengaruhi kualitas dari air tanah tersebut dan akibat dari hal tersebut, air tanah yang tercemar jadi tidak layak untuk digunakan karena banyak kontaminan yang terdegradasi dari air lindi tersebut (Ololade *et al.*, 2019). Tidak hanya itu, air lindi ini pun memiliki bau yang tidak sedap karena adanya sisa-sisa bahan organik yang terdekomposisi oleh mikroorganisme dan bau yang tidak sedap tadi adalah gas dan hasil metabolisme dari mikroorganisme itu sendiri. Beberapa bahan organik (biodegradable) pada sampah TPA umumnya tidak stabil dan cepat terurai karena mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan unsur hara, bahan kimia beracun, dan bahan organik sederhana (Damsir *et al.*, 2016).

2.2 Logam Berat

Keberadaan logam berat di kategorikan menjadi 2 jenis, yaitu logam berat esensial atau logam berat yang dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah tertentu dan menyebabkan keracunan atau toksik apabila dikonsumsi secara berlebihan, sebagai contoh mangan (Mn), besi (Fe), zink (Zn), dan sebagainya. Kedua, logam berat non esensial yaitu logam berat yang tidak dibutuhkan oleh organisme di dalam tubuhnya dan apabila sampai masuk ke dalam tubuh organisme akan menyebabkan keracunan seperti contoh kromium (Cr), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan sebagainya (Irhamni *et al.*, 2017). Keberadaan logam berat sebenarnya terdapat pada

lapisan tanah yang ada di bumi. Pencemaran logam berat secara alami dapat terjadi akibat dari letusan gunung berapi tetapi intensitasnya tidak lebih banyak dari sumber aktivitas manusia. Aktivitas manusia seperti pertambangan yang menggali ke dalam lapisan bumi menyebabkan logam berat ini diekstrak secara tidak langsung ke permukaan tanah atau kegiatan industri yang memakai logam berat sebagai katalis maupun sebagai bahan tambahan untuk pembuatan produk tertentu yang menyebabkan limbah dari kegiatan tersebut mengandung logam berat dan dapat mencemari lingkungan apabila tidak ditangani secara tepat. Logam berat dapat terakumulasi di dalam tubuh organisme yang menyebabkan organisme tersebut mengandung sejumlah logam berat yang membahayakan bagi organisme lainnya terutama manusia. Pencemaran logam berat berlebih dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia, seperti Kerusakan sel darah merah, hilangnya konsentrasi otak, dan serangan pada saraf. (Juharna *et al.*, 2022).

2.2.1 Kromium

Kromium merupakan salah satu logam berat yang dapat ditemukan secara alami di kerak pada bumi dan bersumber dari proses industri. Bilangan valensi kromium mulai dari II sampai dengan VI yang mana bilangan paling stabil adalah dengan bentuk trivalen (III). Unsur kromium Cr(0) tidak terdapat di alam tetapi unsur ini dapat memasuki berbagai matriks lingkungan (udara, air, tanah) dari berbagai sumber alami dan antropogenik, namun emisi terbesar berasal dari perusahaan industri. Industri yang berkontribusi paling besar terhadap emisi kromium meliputi limbah aktivitas manusia seperti pewarnaan tekstil, penyamakan kulit, pelapisan listrik, rumah tangga, pertanian, pertambangan, perikanan, dan aktivitas lainnya. (Kurniawati *et al.*, 2021) Akumulasi pencemar logam berat kromium dapat terus meningkat dari waktu ke waktu akibat pengendapan partikel limbah di dasar badan air, dan partikel tersebut merupakan bahan organik yang mengalami peningkatan konsentrasi kromium di lingkungan berhubungan dengan pelepasan kromium ke udara dan air limbah, terutama dari industri metalurgi, tahanan api dan kimia. Kromium, yang masuk ke lingkungan melalui aktivitas antropogenik, terutama ada dalam bentuk heksavalen trivalen (Cr-III) dan heksavalen (Cr-VI). Kromium trivalen (Cr-III) merupakan mikronutrien dengan toksisitas yang relatif rendah dan sulit larut dalam air, sedangkan kromium heksavalen (Cr-VI) merupakan karsinogen yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia; Karena mudah larut, kromium dapat dengan mudah tersebar di area yang luas (Tseng *et al.*, 2019).

Reduksi kromium heksavalen terjadi melalui beberapa langkah, termasuk penyerapan logam berat, reduksi ekstraseluler, dan reduksi intraseluler yang mana mekanisme penyerapan logam berat terjadi melalui penyerapan pasif dan aktif. Reduksi kromium dapat dilakukan dengan cara bioabsorpsi yang terjadi dalam dua cara. Salah satunya adalah penggantian ion pada dinding sel mikroorganisme dengan ion logam berat, dan yang lainnya adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion logam berat dan gugus fungsi seperti karbonil, amino, dan tiol. Mekanisme penyerapan aktif terjadi dengan penambahan logam berat melintasi membran sel, dan logam esensial masuk melalui sistem transpor membran. Hal ini disebabkan adanya kesamaan sifat logam berat dan logam esensial pada sifat fisikokimia limbah secara keseluruhan. Proses aktif Penyerapan mikroba terjadi dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi ion logam intraseluler 20 (Dwisandi *et al.*, 2021).

2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Menurut (Setyaningrum *et al.*, 2022) Jumlah oksigen dalam air yang diperlukan untuk proses reaksi kimia yang menguraikan bahan organik berbahaya bagi lingkungan, atau biasa disebut COD, dinyatakan dalam bagian per juta (ppm). Nilai COD sebesar merupakan ukuran pencemaran air yang disebabkan oleh zat organik yang dapat teroksidasi secara alami oleh proses mikroba dan mengurangi oksigen terlarut dalam air. Semakin tinggi pula pencemaran kimia pada air tersebut. Nilai Cod dapat diukur dengan menambahkan oksidator seperti $K^2Cr^{2}O^7$ atau $KMNO^4$ dan parameter ini merupakan ukuran pencemaran air oleh zat organik yang teroksidasi secara alami oleh proses mikroba dan menyebabkan penurunan oksigen terlarut dalam air (Ramadani *et al.*, 2021).

2.4 Bioremediasi

Bioremediasi adalah penggunaan mikroorganisme khusus yang digunakan untuk tumbuh pada polutan tertentu dan mengurangi konsentrasi polutan tersebut. Bioremediasi merupakan pendekatan alternatif yang dapat memanfaatkan kemampuan alami organisme hidup untuk memecah dan memineralisasi polutan untuk menghasilkan nutrisi dan energi (M. M. Sahoo *et al.*, 2022). Metode-metode tersebut dapat berkelanjutan, efisien, dan hemat biaya. Selain itu terdapat proses bioakumulasi yang mana proses ini merujuk pada organisme mengumpulkan polutan dari makanan yang mereka konsumsi serta dari lingkungan abiotik di sekitar mereka (Nnaji *et al.*, 2023). Bioremediasi banyak digunakan dalam pengolahan air

limbah bahkan pengolahan logam berat. Mikroorganisme yang digunakan dalam metode bioremediasi yaitu berupa fungi dan bakteri. Kedua jenis organisme ini telah banyak digunakan untuk mengurangi kadar logam berat yang terdapat pada limbah termasuk air lindi. Kandungan karbon merupakan nutrisi penting bagi mikroorganisme untuk bertahan hidup, selain karbon ada beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam bioremediasi yaitu faktor biologi, oksigen, nutrisi, suhu, pH, ion logam (Bala *et al.*, 2022)

2.5 Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*

Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* adalah bakteri alami dari genus *Arthrobacter* dengan bakteri gram positif termasuk dalam kelas *Actinobacteria*, tersebar luas di lingkungan dan telah diisolasi dari tanah dan tanaman rizosfer. Dalam beberapa kasus bakteri ini dalam spesies tertentu dari genus yang sama dapat mendegradasi beberapa senyawa xenobiotik. Ada beberapa jenis mikroorganisme yang dapat digunakan dalam bioakumulasi polutan yaitu beberapa diantaranya *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Xanthobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Nitrosomonas*, dan sebagainya (Bala *et al.*, 2022). Bakteri ini sendiri merupakan bakteri yang telah diisolasi dari habitat aslinya, sehingga bakteri asli cenderung tumbuh dan berkembang biak dengan lebih baik bila tumbuh di lingkungan alamnya. Bakteri yang terdapat secara alami tentu saja dapat diperoleh dengan mengisolasi bakteri tersebut dari bahan limbah yang habitat aslinya adalah dan membawanya ke laboratorium untuk budidaya *in vitro* murni. Populasi bakteri alami yang berhasil diisolasi dapat digunakan untuk pengolahan air limbah termasuk air lindi selama Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* memiliki potensi yang cukup. Proses terpenting dari proses pengolahan lindi adalah transformasi bertahap substrat, biasanya dalam bentuk bahan organik, dari susunan molekul yang kompleks menjadi molekul yang memiliki susunan yang lebih sederhana. Adapun efisiensi dari bakteri ini dari beberapa parameter yakni,

Tabel 2. 1 Tabel hasil penelitian bioremediasi menggunakan *Arthrobacter chlorophenolicus*

Referensi	Parameter	Hasil penelitian
(N. K. Sahoo <i>et al.</i> , 2011) Lokasi : India	4-chlorophenol	Efisiensi 23%
(González <i>et al.</i> , 2015) Lokasi Argentina	m-Nitrophenol, COD	Efisiensi 89%
(Lathifah <i>et al.</i> , 2021) lokasi : Gunung Merapi	Chromium(VI) Bioremediation	Efisiensi 67%

2.6 Peneliti Terdahulu

Inventarisasi dan identifikasi upaya pengurangan kadar logam kromium dalam air dengan menggunakan kultur mikroorganisme *Arthrobacter chlorophenolicus* telah didukung oleh berbagai studi sebelumnya. Beberapa hasil yang ditemukan dari literatur terdahulu antara lain:

Tabel 2. 2 Referensi peneliti terdahulu

Penulis	Judul Penelitian	Hasil
(Hatano & Tsuruta, 2017)	<i>Removal and Recovery of Chromium (III) from Aqueous Chromium (III) Using Arthrobacter nicotianae Cells</i>	Metode penelitian yang digunakan melibatkan pengurangan kadar logam Cr (III) dengan menggunakan mikroorganisme <i>Arthrobacter nicotianae</i> Cells. Dalam pengujian ini, parameter yang digunakan untuk mengukur efektivitas reduksi adalah pH.
(Chauhan et al., 2018)	<i>Physiological and Comparative Genomic Analysis of Arthrobacter sp. SRS-W-1-2016 Provides Insights on Niche Adaptation for Survival in Uraniferous Soils</i>	Penelitian ini meneliti berapa persen ketahanan bakteri terhadap lingkungan ekstrim dan efesiensinya terhadap zat xenobiotik
(Lathifah et al., 2021)	<i>Potency of Indigenous Bacteria of Mt. Merapi, Arthrobacter chlorophenolicus for Chromium (VI) Bioremediation</i>	Penelitian ini mengukur nilai reduksi logam kromium hexavalen dan nilai OD. Kemudian bakteri diinkubasi selama 192 jam .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

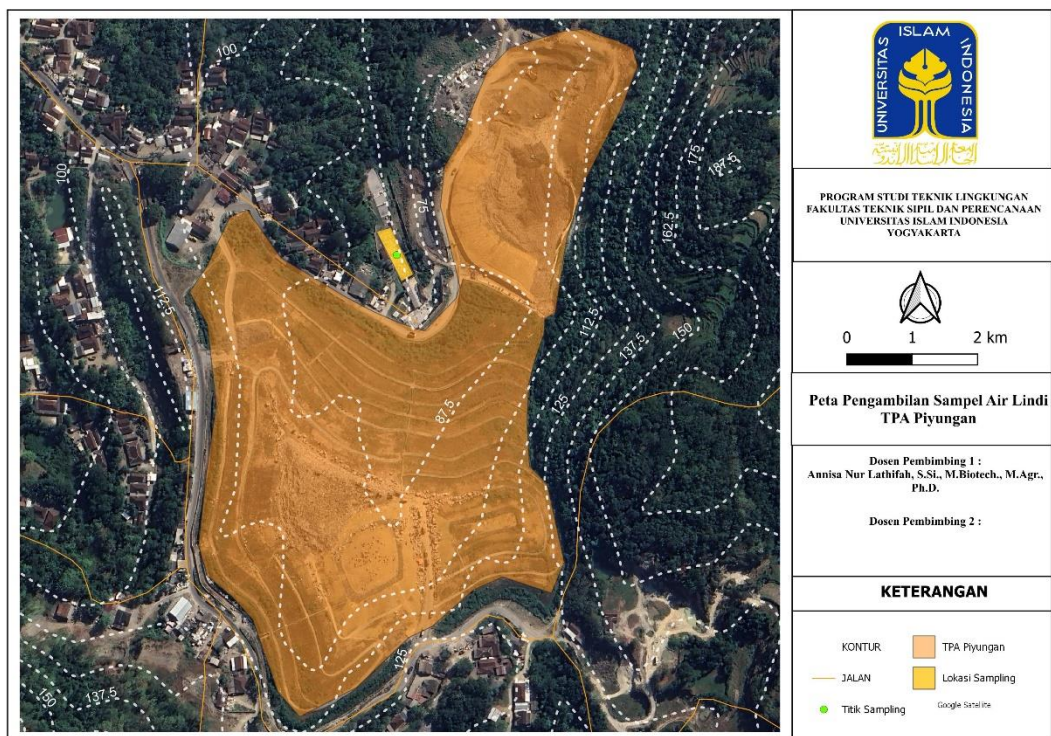
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. TPA Piyungan sebagai tempat pengambilan sampel air limbah
2. Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan FTSP UII, sebagai tempat untuk menganalisis parameter awal air limbah
3. Laboratorium Bioteknologi FTSP UII, sebagai tempat untuk analisis kemampuan Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi kandungan kromium



Gambar 3. 1 Lokasi titik sampling air lindi pada TPA Piyungan

Koordinat titik sampling untuk pengambilan sampel air lindi di TPA Piyungan adalah $7^{\circ} 52' 5.619''$ LS dan $110^{\circ} 25' 48.932''$ BT. Pengambilan sampel dilakukan secara komposit yaitu dengan mengambil sampel air lindi pada bak penampungan air lindi yang ada di TPA piyungan yang sudah ditentukan pada titik koordinat. Pengambilan sampel ini dilakukan pada bagian inlet, hal ini dilakukan supaya sampel air lindi yang didapatkan belum terjadi proses degradasi pada air lindi yang bisa mempengaruhi karakteristik pada air lindi tersebut.

3.1.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian yang berjudul “Efektivitas Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr-VI) Pada Air Lindi di Tpa Piyungan” akan dilaksanakan dimulai pada bulan April hingga Juli 2024.

3.2 Pengumpulan Data

Tujuan metode pengumpulan data dalam penelitian adalah untuk mengumpulkan informasi dan fakta yang relevan sesuai dengan pertanyaan penelitian yang diajukan. Dengan mengumpulkan data yang tepat, peneliti dapat menganalisis dan menarik kesimpulan yang akurat tentang fenomena yang diteliti.

a. Data Primer

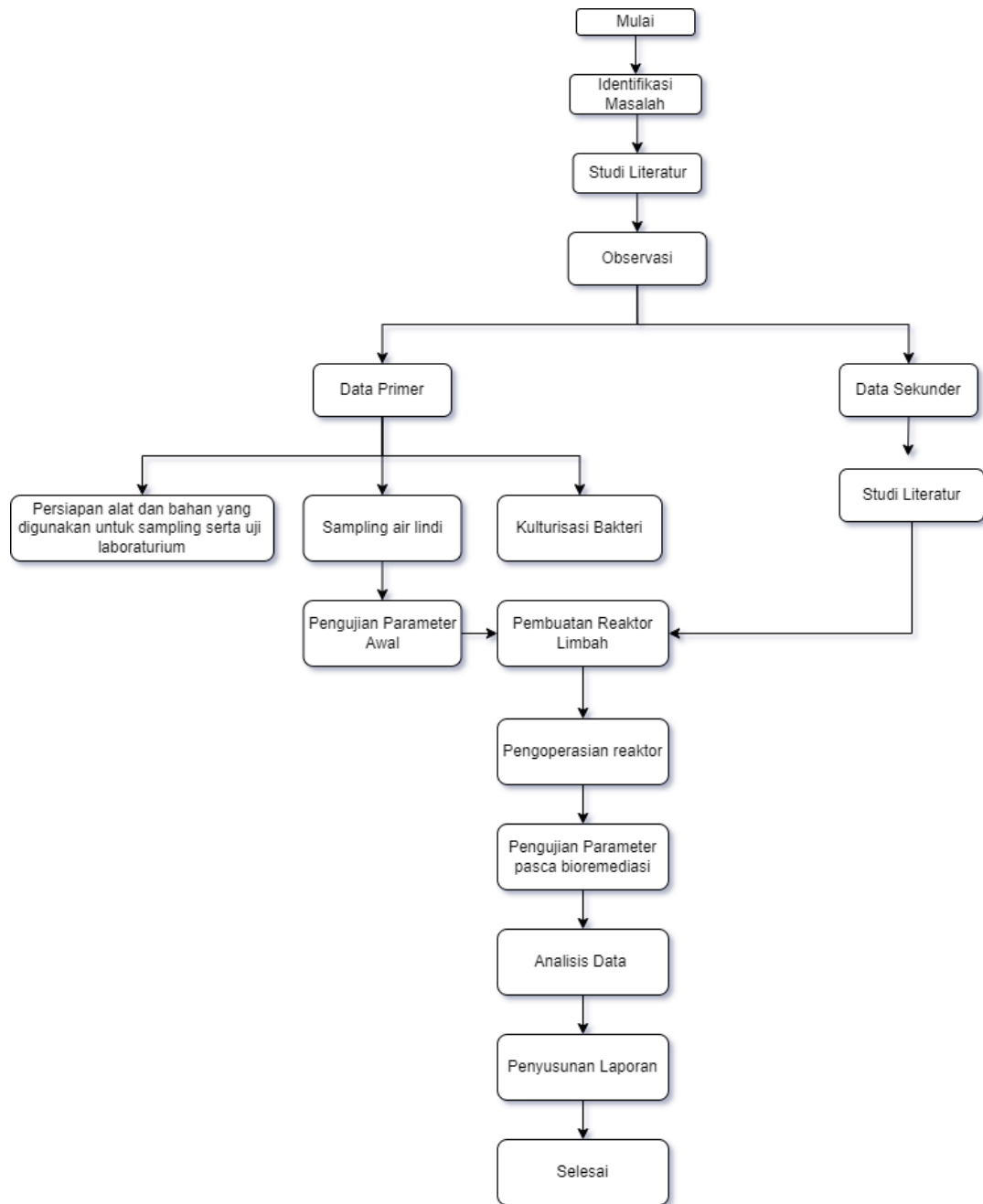
Pada penelitian ini, data yang dikumpulkan adalah Persiapan alat dan bahan terkait sampling, sampling air lindi, dan kulturisasi bakteri. Persiapan alat dan bahan dilakukan guna memudahkan dalam pengambilan sampel yang ada pada titik lokasi I sampling. Kemudian, metode sampling yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan random sampling yang mana metode pengambilan sampel pada kolam air lindi yang ada di TPA Piyungan. Terakhir, setelah dilakukan sampling, bakteri yang telah didapatkan akan dikulturisasi dengan tujuan untuk identifikasi spesies atau jenis bakteri yang hadir dalam sampel.

b. Data Sekunder

Data sekunder dari studi literatur seperti contoh jurnal dan penelitian yang sudah dilakukan terdahulu guna sebagai sumber acuan dasar dan mengurangi resiko pada penelitian yang akan dilakukan

3.3 Kerangka Penelitian

Penyusunan kerangka penelitian ini bertujuan untuk memberikan panduan dalam pelaksanaan penelitian dari tahap awal hingga mencapai hasil akhir. Adanya kerangka penelitian ini diharapkan dapat memudahkan pelaksanaan penelitian dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan sehingga tujuan penelitian dapat tercapai dengan lebih baik. Berikut adalah tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian kali ini akan diilustrasikan dalam diagram alir yakni,



Gambar 3. 2 Diagram alir metode penelitian

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan disiapkan guna mendukung kelancaran saat melakukan sampling serta penelitian di antaranya :

Tabel 3. 1 Alat dan bahan dalam penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Botol sampel	Menyimpan sampel agar tidak terjadi kontaminasi
2	Corong	Mempermudah menuangkan air limbah ke dalam botol sampel
3	pH universal	mengecek nilai pH dari air lindi
4	Termometer	Mengukur suhu pada sampel
5	Sarung tangan	Mencegah cairan mengenai kulit
6	Erlenmeyer	Wadah sementara untuk mengukur nilai kromium (VI)
7	Autoclave	Mensterilkan media dan limbah
8	Pipet ukur	Mengambil larutan dengan dengan volume tertentu
10.	Labu ukur	Mengencerkan larutan
11	Botol larutan	Menampung larutan
12	Corong kaca	Mempermudah dalam menyaring dengan kertas saring1
13	Cawan petri	Sebagai tempat media untuk menumbuhkan bakteri
14	Ruang asam	Tempat untuk mengambil larutan yang bersifat asam
15	<i>Waterbath</i>	Menjaga suhu dalam tingkat konstan untuk pertumbuhan bakteri dan menghomogenkan secara otomatis
16	Inkubator	Menjaga suhu dalam tingkat konstan dalam pertumbuhan bakteri
17	Ruang asam	Tempat untuk mengambil larutan yang bersifat asam
18	Media NA	Sebagai media untuk mengkultur ulang bakteri dalam media padat
19	Media NB	Sebagai media untuk mengkultur ulang bakteri dalam media cair
20	Aerator	Menyuplai oksigen ke dalam reaktor

3.5 Pengambilan Sampling Air Lindi

Penentuan titik sampling ini dilakukan pada kolam penampungan air lindi yaitu pada koordinat 7° 52' 5.619" LS dan 110°25'48.932" BT. Kemudian titik sampling pengambilan sampel yaitu di bagi menjadi 6 titik, yaitu :

1. Sisi hulu timur penampungan air lindi
2. Sisi hilir timur penampungan air lindi
3. Sisi hulu barat penampungan air lindi
4. Sisi hilir barat penampungan air lindi



Gambar 3. 3 Penentuan lokasi titik sampling air lindi



Gambar 3. 4 Proses pengambilan sampel di inlet TPA Piyungan

Pada proses pengambilan air lindi menggunakan teknik grab sampling. Pada proses pengambilan air lindi yakni langsung mengambil air lindi secara langsung pada titik inlet air lindi. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang kualitas air lindi pada saat pengambilan. Ketika pengambilan sampel air lindi harus menggunakan sarung tangan serta masker dalam prosedur keamanannya. Setelah itu sampel kemudian diambil menggunakan alat *water sampler*, kemudian air lindi yang sudah diambil ditampung ke dalam wadah sampel air lindi, tetapi sebelum itu, wadah serta alat water sampling dibasuh dengan sampel terlebih dahulu untuk mencegah kontaminasi pada sampel akibat dari pemakaian wadah sebelumnya.

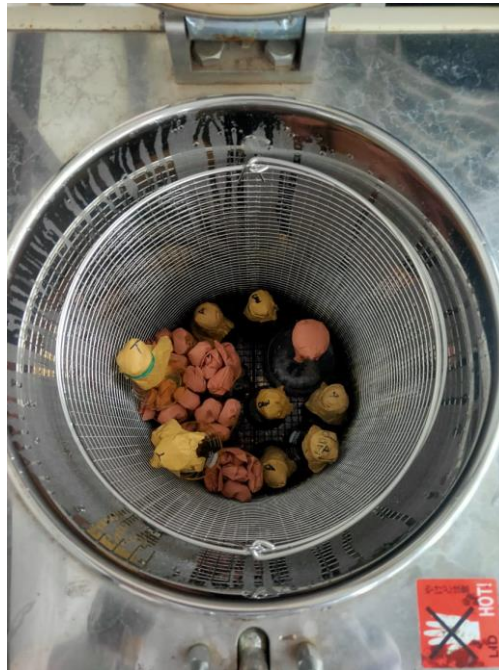


Gambar 3. 5 Bagan Alir Pengambilan Sampel

3.6 Sterilisasi Media

Proses sterilisasi pada penelitian ini adalah untuk suatu langkah pertama atau pencegahan masuknya zat atau benda asing yang memungkinkan dapat terjadinya kontaminasi pada media, peralatan kultur, dan bahan penelitian lainnya (Wulandari *et al.*, 2022). Metode Sterilisasi yang digunakan adalah metode sterilisasi basah yaitu menggunakan uap air dibawah tekanan menggunakan autoklaf. Suhu yang digunakan untuk sterilisasi adalah 115 °C/10 psi (psi = pon per inci persegi), 121 °C/ 15 psi, dan 132 °C/27 psi. Akan tetapi, pada umumnya suhu dan tekanan yang digunakan adalah 121°C/ 15 psi (Vishal Gupta *et al.*, 2016). Kemudian

Instrumen yang akan disterilkan dibungkus dengan kertas alumunium atau kertas coklat untuk mencegah masuknya uap air ke dalam instrumen yang akan disterilkan. Untuk sterilisasi media, bagian alat yang terbuka juga dibungkus dengan kertas coklat atau aluminium dan diisi dengan kapas untuk mencegah kontaminasi uap air pada media.



Gambar 3. 6 Proses Sterilisasi media menggunakan *autoclave*

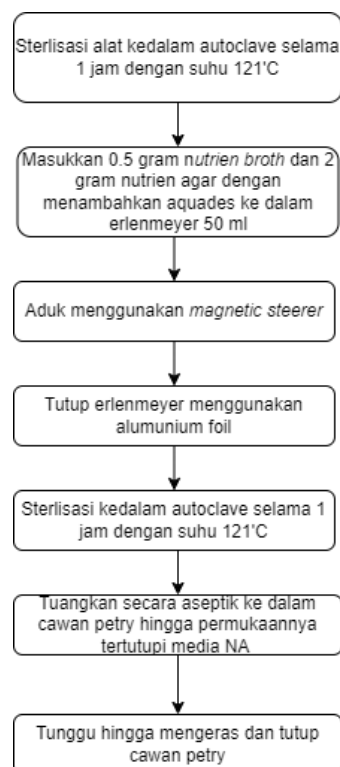
3.7 Pembuatan Media

Pembuatan media bertujuan sebagai media kultur yang mana sebagai tempat untuk mengisolat bakteri (Napitupulu *et al.*, 2019). Dalam pembuatan media ini terdapat 2 bahan yang diperlukan dalam menumbuhkan bakteri ke dalam media nutrisi agar (NA) dan *nutrient broth* (NB). Menurut (Napitupulu *et al.*, 2019) pembuatan media dapat dilakukan dengan mencampurkan 0.2 gram nutrient broth (1%) dengan 25 ml aquades dan diaduk menggunakan *magnetic steerer*. Kemudian apabila bahan telah teraduk secara sempurna, erlenmeyer 100 ml ditutup menggunakan kapas dan kertas payung. Kemudian disterilkan menggunakan autoclave dengan suhu 121°C selama ± 1 jam. Setelah itu, media yang telah disterilkan tadi dituangkan secara aseptik ke dalam cawan petri yang steril hingga permukaan cawan tertutup dengan media agar. Terakhir, media agar didiamkan hingga mengeras dan ditutup menggunakan saput plastik supaya tidak terkontaminasi. Untuk pembuatan media *nutrient broth* (NB) dengan cara menuangkan sebanyak 0,2 gram dan 1 gram media dilarutkan di dalam 50 ml aquades.

Kemudian Larutan kemudian dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 10-15 ml dan ditutup dengan aluminium foil dengan tujuan supaya tidak terkontaminasi dan terakhir disterilkan menggunakan autoclave dengan suhu 121°C selama ± 1 jam. Terakhir masukkan media ke dalam kulkas.



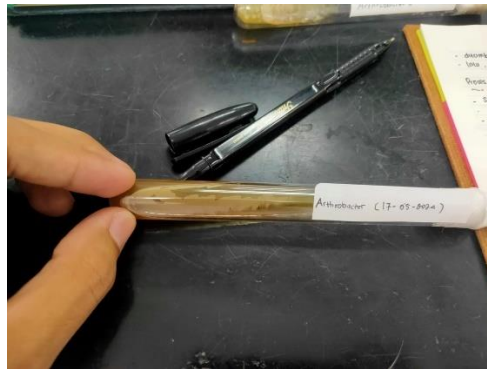
Gambar 3. 7 Proses penimbangan pembuatan media NA dan NB



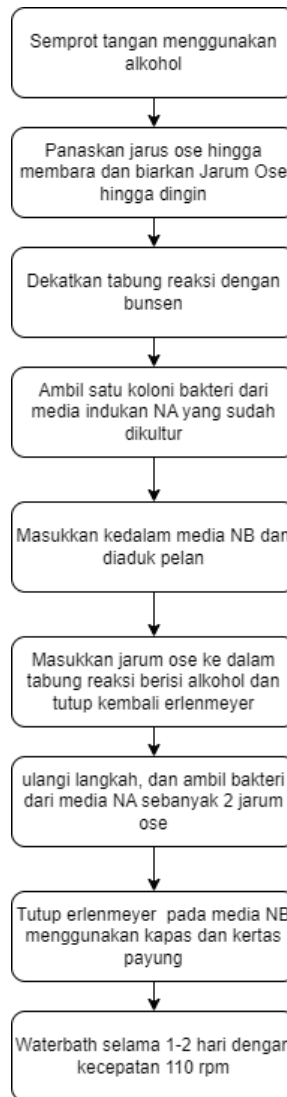
Gambar 3. 8 Proses pembuatan media NA dan NB

3.8 Kulturasasi Bakteri

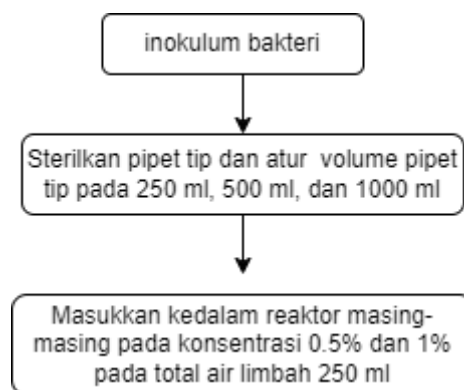
Kulturasasi bakteri bertujuan untuk menyediakan lingkungan yang seimbang dalam pertumbuhan mikroorganisme dengan menyediakan media dan nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan mikroorganisme (Atmanto *et al.*, 2022). Untuk melakukan kulturasasi bakteri, pastikan media kulturasasi harus steril dari kontaminasi dengan tujuan untuk mendapatkan *single coloni* supaya sesuai morfologi setiap bakteri. *Single coloni* ini tujuannya adalah untuk mengembangbiakkan bakteri yang diinginkan ke dalam media NA dengan metode teknik gores menggunakan jarum ose. Setelah proses teknik gores menggunakan jarum ose, kemudian cawan petri yang sudah berisikan bakteri tersebut dimasukkan ke dalam inkubator dengan suhu 37 °C selama 24 – 72 jam. Hal ini berfungsi sebagai tempat tumbuh yang optimum bagi bakteri. Bakteri yang telah diinkubasi tadi kemudian diperiksa kembali morfologinya untuk mengetahui apakah di dalam cawan tersebut sudah didapatkan *single coloni* bakteri yang diinginkan dan tidak terkontaminasi dengan bakteri lain. Apabila *single coloni* telah didapatkan, maka bakteri dapat dicadangkan pada agar miring. Jika belum, ulangi langkah tersebut hingga mendapatkan *single coloni* bakteri. Isolat *single coloni* bakteri tadi yang dapat diamati dan dibedakan dengan cara melihat perbedaan ukuran, warna, bentuk tepi, pertumbuhan koloni, dan bentuk koloni (Napitupulu *et al.*, 2019).



Gambar 3. 9 Kulturasasi bakteri ke dalam agar miring



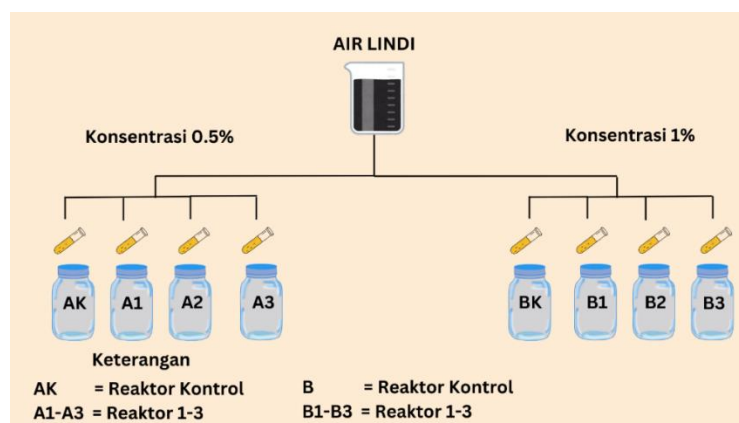
Gambar 3. 10 Inokulum bakteri ke media NA



Gambar 3. 11 Tahapan Inokulasi bakteri ke media NB

3.9 Pembuatan Reaktor Limbah Skala Laboratorium

Pembuatan reaktor pada penelitian ini yaitu menggunakan toples kaca dengan volume ± 250 ml. Sebelum toples kaca siap dijadikan reaktor, toples kaca terlebih dahulu akan dicuci lalu kemudian masukkan air limbah sebanyak 250 ml pada masing-masing reaktor. Kemudian, reaktor akan bersamaan disterilkan menggunakan oven dengan autoclave 105°C selama 1 jam. Setelah tahap sterilisasi selesai. Kemudian inokulum bakteri sebanyak 1.25 ml pada konsentrasi 0,5 % (dari total air limbah 250 ml) dan 2.5 ml pada konsentrasi 1% (dari total air limbah 250 ml) di *Laminar air flow* (LAF) (Ardhianti *et al.*, 2017). Tujuan dibuatnya berbagai konsentrasi yaitu adalah untuk mengetahui sejauh mana kemampuan dari bakteri tersebut dalam mereduksi air lindi pada setiap konsentrasi yang pada dasarnya ketika di lapangan, air limbah memiliki berbagai konsentrasi yang berbeda. Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* ini dalam proses pendegradasinya memerlukan udara, maka pada saat proses pembuatan reaktor, ditambahkan aerator sebagai alat untuk menyuplai oksigen ke bakteri yang ada di dalam reaktor tersebut.



Gambar 3. 12 Bagan alir reaktor

Keterangan

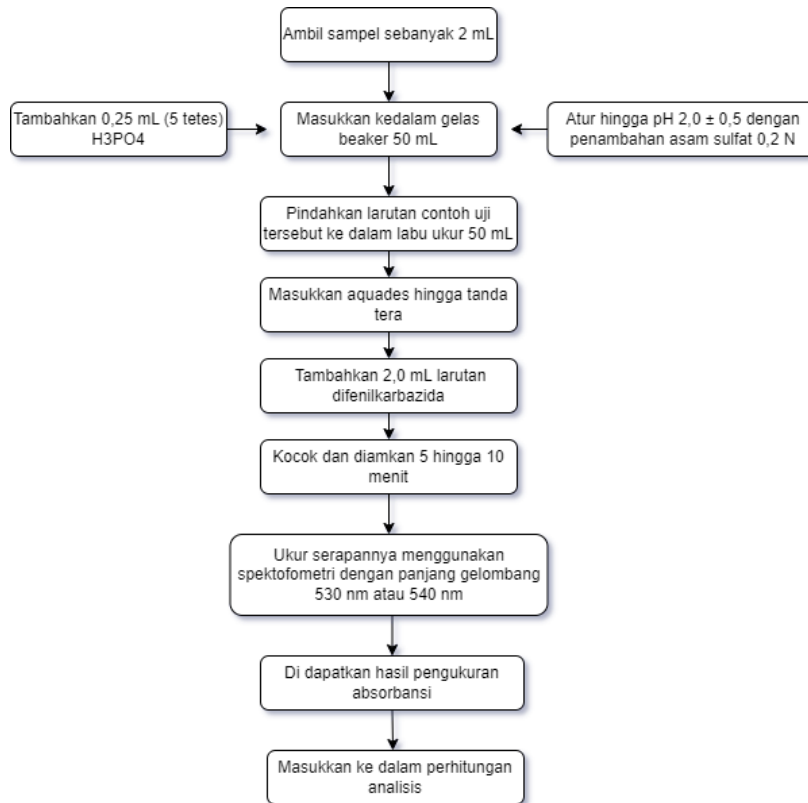
- Reaktor Kontrol AK = Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor A1 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor A2 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor A3 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor Kontrol BK = Sampel air lindi 250 ml + aerasi

- Reaktor B1 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor B2 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi
- Reaktor B3 = *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) + Sampel air lindi 250 ml + aerasi

3.10 Pengoperasian Reaktor

Proses pengoperasian reaktor akan dilakukan pada Laboratorium bioteknologi di FTSP UII. Reaktor dioperasikan selama 14 hari atau 2 minggu. Pada saat pengoperasian reaktor juga, akan ada penambahan oksigen dari aerator yang digunakan sebagai penyuplai oksigen ke masing-masing reaktor. Terdapat 8 total reaktor dengan 1 kontrol dan 3 reaktor konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v). Selama pengoperasian reaktor, reaktor dibiarkan terbuka. Jumlah reaktor yang digunakan disesuaikan dengan jumlah bakteri yang tumbuh dengan baik pada proses isolasi, karena satu reaktor diperuntukkan untuk satu konsentrasi bakteri.

Pengujian akan dilakukan secara berkala pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1% (v/v). dengan menggunakan metode refluks tertutup yang mengikuti standar pengujian SNI 6989.71.2009. SNI ini menjelaskan metode spektrofotometri untuk menguji kadar krom heksavalen dalam contoh air dan air limbah. Metode ini melibatkan pereaksi difenilkarbazida untuk membentuk kompleks berwarna yang diserap pada panjang gelombang 530-540 nm..



Gambar 3. 13 Tahapan pengujian kromium

3.11 Analisis Efisiensi Bakteri dalam Meremoval Kandungan Kromium

3.11.1 Analisis Reduksi Kromium

Data yang diperoleh dari hasil pengujian sampel air lindi di TPA Piyungan kemudian dianalisis berdasarkan laju reduksi yang diperoleh. Data diolah dalam format grafik, sehingga memungkinkan untuk menganalisis tren dalam grafik agar memudahkan untuk analisis removal kandungan kromium oleh bakteri uji. Rumus yang digunakan pada hasil perhitungan kromium adalah

$$\text{Kadar Kromium (mg/L)} = C \times \frac{102}{V} \times fp$$

Keterangan :

- C = Kadar krom heksavalen yang didapatkan hasil pengukuran (mg/L)
- 102 = Volume Akhir (mL)
- V = Volume contoh uji (mL)
- Fp = Faktor pengenceran

$$\text{Persen removal} : \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \%$$

Keterangan :

C_0 = Konsentrasi logam berat awal (mg/L)

C = Konsentrasi logam berat akhir (mg/L)

3.11.2 Analisis pH dan Suhu

Pada analisis dengan parameter pH menggunakan alat pH meter dengan cara meletakkan ujung sensor pH meter ke dalam sampel dan hasil dari besaran pH akan muncul pada didapatkanlah hasil dari nilai pH. Sedangkan untuk parameter suhu, akan menggunakan termometer dengan cara menyelupkan termometer pada sampel uji.

2.11.3 Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Data yang didapatkan dari hasil uji sampel pada air limbah selanjutnya akan dianalisis sesuai dengan persentase removal yang dihasilkan. Untuk analisis hasil dari COD ini akan menggunakan alat spektrofotometri UV-Visible. Data akan diolah dalam bentuk grafik supaya dapat diketahui trend grafik sehingga memudahkan untuk melihat trend pengolahan limbah yang dilakukan oleh bakteri yang diuji. Adapun rumus yang digunakan dalam hasil perhitungan Chemical Oxygen Demand (COD) yaitu :

$$\text{Kadar COD } \left(\frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} \right) = C \times f$$

C = nilai contoh uji (mg L)

f = faktor pengenceran

Hasil yang didapat akan dibandingkan dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012. Lalu selanjutnya mengambil kesimpulan dari hasil dari efektivitas bakteri indigenous dalam mendegradasi COD pada limbah air lindi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Efektivitas Bakteri Dalam Penyisihan Kromium (VI)

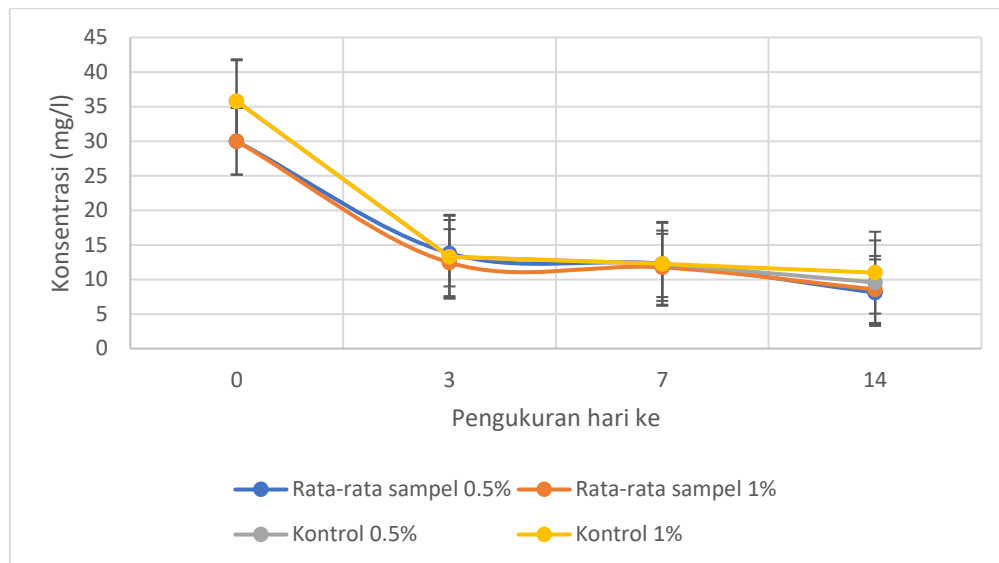
Pengujian konsentrasi awal pada sampel air lindi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar awal kromium (VI) pada sampel air lindi. Pengukuran konsentrasi awal dilakukan dengan mengacu pada SNI 6989.71.2009 tentang cara uji krom heksavalen (Cr-VI) dalam contoh uji secara spektrofotometri.

Tabel 4. 1 Analisis kemampuan bakteri dalam meremoval kandungan kromium (VI)

No	Nama Reaktor	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Persenan removal (%)
1	Reaktor Kontrol A	35,769	9,572	73,24% $\pm$ 9,34
2	Reaktor A1	27,079	6,632	75,51% $\pm$ 12,13
3	Reaktor A2	34,747	7,144	79,44% $\pm$ 12,13
4	Reaktor A3	28,102	10,466	62,76% $\pm$ 12,13
5	Reaktor Kontrol B	35,769	10,977	69,31 $\pm$ 9.68
6	Reaktor B1	27,079	7,144	73,62% $\pm$ 11,83
7	Reaktor B2	34,747	7,271	79,07% $\pm$ 11,83
8	Reaktor B3	28,102	11,233	60,03% $\pm$ 11,83

Berdasarkan **table 4.1** diatas, terdapat penurunan konsentrasi kandungan kromium (VI) sebesar 60%-79% yang terjadi pada masing-masing reaktor. Penurunan konsentrasi kromium (VI) jika dilihat dari hasil analisis pada reaktor yang berisikan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan reaktor kontrol. Berdasarkan hasil uji statistik standar deviasi antara reaktor kontrol dengan reaktor yang berisikan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) dan 1% (v/v) melalui aplikasi *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) didapatkan nilai standar deviasi didapatkan kisaran nilai yaitu 9,68- 12,13. Nilai standar deviasi menunjukkan bahwa adanya variasi yang cukup besar dalam konsentrasi kromium (VI) di reaktor kontrol dan pada reaktor bakteri 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v) variasi yang dihasilkan cenderung lebih kecil dibandingkan dengan reaktor kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa adanya proses degradasi kromium oleh bakteri 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v)

yang lebih konsisten dan stabil dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak ditambahkan bakteri walaupun penurunan konsentrasi tidak signifikan.



Gambar 4. 1 Perbandingan rata-rata penurunan konsentrasi kromium 0,5% (v/v dan 1% (v/v))

Berdasarkan hasil analisis, terdapat variabel lain berupa proses aerasi yang memungkinkan untuk menurunkan kandungan kromium (VI) pada masing-masing sampel. Proses aerasi digunakan untuk meningkatkan *dissolved oxygen (DO)* atau oksigen terlarut di dalam air limbah. Peningkatan nilai DO (*Dissolved Oxygen*) mendorong konversi kromium (VI) menjadi kromium (III) karena aktivitas mikroorganisme di dalam reaktor limbah meningkat. Aktivitas yang lebih tinggi dari bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* menghasilkan lebih banyak bioelektrisitas, yang berfungsi sebagai sumber energi untuk reaksi elektrokimia yang diperlukan dalam mengurangi kromium (VI) menjadi kromium (III). Proses ini cenderung stabil melalui reduksi elektrokimia dengan bantuan enzim kromat reduktase yang berfungsi sebagai katalisis reaksi reduksi yang mengubah kromium (VI) yang beracun menjadi kromium (III) yang lebih stabil dan kurang berbahaya. (Shi *et al.*, 2023). Pada reaktor bakteri terjadi penurunan konsentrasi kromium (VI) yang nilai penurunannya tidak cukup signifikan dibandingkan dengan reaktor kontrol. Hal ini disebabkan kemungkinan adanya proses degradasi kandungan senyawa lainnya di dalam sampel air limbah yang menyebabkan pada proses bioremediasi kromium (VI) *Arthrobacter chlorophenolicus* konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v) kurang memberikan pengaruh yang signifikan. Aerasi memfasilitasi proses oksidasi dan pengendapan Cr-VI, yang berkontribusi terhadap penurunan konsentrasi logam dalam sampel (Kuncoro & Soedjono, 2022). Dalam penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Lathifah *et al.*, 2021), bakteri ini dapat menurunkan kandungan kromium dengan persentase 80%. Tetapi

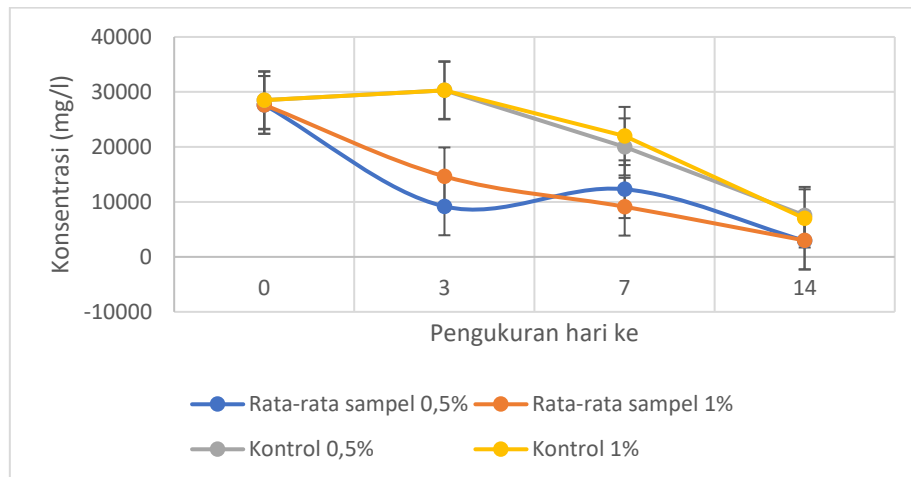
kromium yang digunakan adalah *artificial* atau buatan yang artinya tidak ada kandungan logam ataupun senyawa lain yang terkandung di dalam reaktor. Hal ini menyebabkan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi kromium lebih terpusat pada satu senyawa, sedangkan dalam penelitian ini studi kasus yang diambil merupakan air lindi di TPA Piyungan yang mana terdapat berbagai kandungan organik dan senyawa dalam satu sampel.

4.2 Efektivitas Bakteri Dalam Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengujian konsentrasi awal pada sampel air lindi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi awal *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sampel air lindi. Pengukuran konsentrasi awal dilakukan dengan mengacu pada SNI 6989.2-2009 Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi COD dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.

Tabel 4. 2 Analisis kemampuan bakteri dalam meremoval kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

No	Nama Reaktor	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Persenan removal (%)
1	Reaktor Kontrol A	28483,965	7537,883	73,53% ± 9272,88
2	Reaktor A1	27221,187	2955,803	89,14% ± 10433,31
3	Reaktor A2	27581,980	2883,644	89,55% ± 10433,31
4	Reaktor A3	28123,171	2991,882	89,37% ± 10433,31
5	Reaktor Kontrol B	28483,965	6996,693	75,43% ± 10580,11
6	Reaktor B1	27221,187	3172,279	88,35% ± 10580,11
7	Reaktor B2	27581,980	2486,771	90,99% ± 10580,11
8	Reaktor B3	28123,171	3316,597	88,21% ± 10580,11



Gambar 4. 2 Rata-rata penurunan COD pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1% (v/v)

Berdasarkan **gambar 4.2** di atas persentase removal pada konsentrasi bakteri 0,5% (v/v) berada di kisaran 89% sedangkan untuk reaktor sampelnya berada di kisaran 73%. Persentase removal pada konsentrasi bakteri 1 % (v/v) berada di kisaran 88%-90% sedangkan untuk reaktor sampelnya berada di kisaran 75%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Musa & Ahmad, 2014), ditemukan bahwa bakteri aerobik memiliki kemampuan yang signifikan dalam mengurangi kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) dalam air limbah. Dalam penelitian tersebut, tingkat pengurangan COD yang dicapai berkisar antara 77% hingga 94%. Proses ini melibatkan penggunaan aerasi sebagai penyuplai oksigen terlarut ke dalam reaktor supaya terjadinya proses pendegradasian kandungan organik oleh bakteri. Molekul besar seperti karbohidrat, protein, dan lipid menempel pada permukaan sel bakteri melalui interaksi fisikokimia dan zat organik teradsorpsi. *Arthrobacter chlorophenolicus* mengeluarkan berbagai enzim ekstraseluler seperti amilase, protease, dan lipase untuk memecah molekul kompleks menjadi unit yang lebih kecil (Siddiqa & Faisal, 2020).

Pada pengujian standar deviasi antara reaktor kontrol dengan reaktor sampel yang berisikan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v) didapatkan nilai 9272,88 sampai 10580,31. Berdasarkan analisis standar deviasi, reaktor kontrol lebih konsisten dibandingkan dengan data reaktor sampel. Hal ini terlihat dari standar deviasi pada reaktor kontrol yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kelompok reaktor sampel bakteri 0,5% (v/v) dan 1% (v/v). Konsistensi data kontrol yang lebih tinggi dapat dijelaskan oleh stabilitas kondisi sistem kontrol, tidak adanya faktor tambahan seperti adaptasi bakteri yang mempengaruhi hasil pengukuran COD. Sebaliknya, pada reaktor sampel, proses adaptasi yang mana dalam prosesnya bakteri mengubah aktivitas metabolismenya sehingga dapat

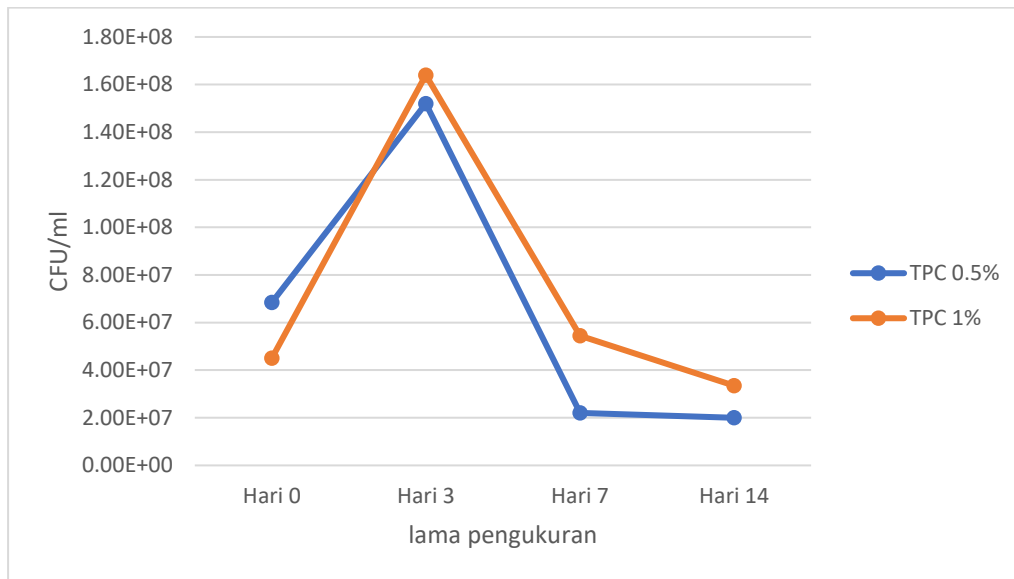
mendegradasi senyawa organik yang ada. Selama masa adaptasi ini, efisiensi degradasi bahan organik oleh bakteri menjadi tidak stabil, sehingga menyebabkan fluktuasi tingkat COD yang besar. Reaktor yang tambahkan bakteri dapat mendegradasi konsentrasi COD sedangkan pada reaktor kontrol cenderung turun namun tidak signifikan penurunan pada reaktor sampel yang ditambahkan bakteri. Penurunan yang lebih signifikan pada reaktor dengan penambahan bakteri menunjukkan bahwa bakteri berperan efektif dalam menurunkan COD pada konsentrasi yang diuji. Proses penurunan konsentrasi pada reaktor kontrol karena adanya proses aerasi dalam proses ini oksigen terlarut diinfuskan ke dalam air limbah untuk meningkatkan kontak antara oksigen dari udara dengan bahan organik yang terlarut dalam air. Oksigen yang terlarut dalam air akan bereaksi langsung dengan senyawa-senyawa organik kompleks dalam air limbah, menghasilkan produk akhir berupa karbon dioksida dan air. Proses aerasi ini dapat menurunkan kandungan COD sebesar 18%-33% (Khan *et al.*, 2022)

4.3 Analisis pertumbuhan bakteri

Adanya pengaruh *Arthrobacter chlorophenolicus* terhadap reduksi kromium (VI) dan COD, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbandingan antara pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dengan proses penurunan konsentrasi kromium (VI) dan COD dalam sampel reaktor limbah dengan dibandingkannya dengan standar korelasi yang didapat.

Tabel 4. 3 Jumlah total koloni yang tumbuh pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v)

NO	Pengukuran jumlah hari	Konsentrasi 0,5% (v/v) CFU/ml	Konsentrasi 1% (v/v) CFU/ml
1	Hari ke 0	$6,85 \times 10^7$	$4,50 \times 10^7$
2	Hari ke 3	$15,2 \times 10^8$	$16,4 \times 10^8$
3	Hari ke 7	$2,20 \times 10^7$	$5,45 \times 10^7$
4	Hari ke 14	$2,00 \times 10^7$	$3,35 \times 10^7$

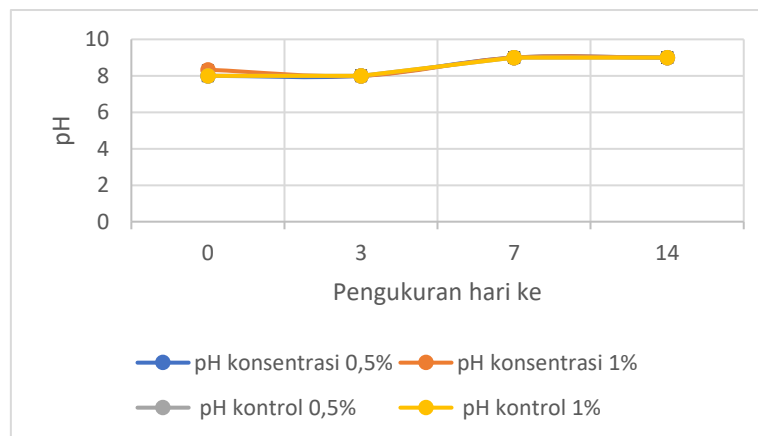


Gambar 4. 3 Perbandingan pertumbuhan bakteri pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1 % (v/v)

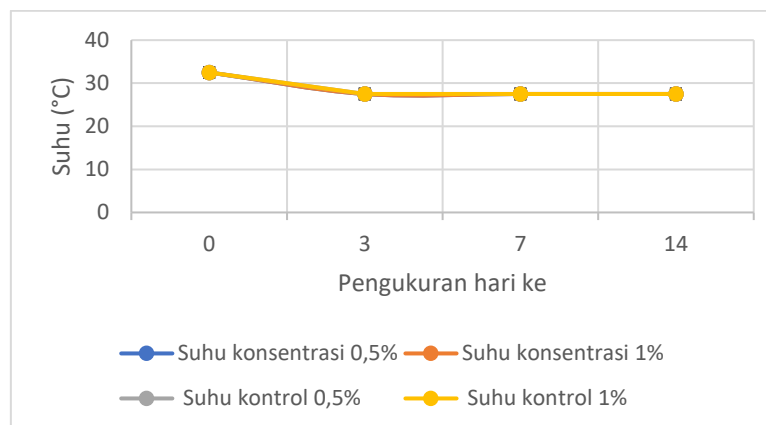
Berdasarkan gambar **4.3** diatas, konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1% (v/v) jumlah koloni bakteri yang terbentuk meningkat signifikan pada hari ke 3, tetapi kemudian menurun drastis antara hari ke-7 dan 14 pada pengenceran 1×10^{-6} . Sedangkan yang menjadi perbedaannya adalah konsentrasi pertumbuhannya yang lebih banyak pada konsentrasi 1% (v/v) dibandingkan 0,5% (v/v). Hal ini dikarenakan bakteri pada hari ke-3 masih adanya proses adaptasi pada lingkungan yang menyebabkan pada pertumbuhan masing-masing bakteri mengalami peningkatan dan menurun pada hari-hari selanjutnya (Rios-Miguel *et al.*, 2023). Hasil standar korelasi menunjukkan hubungan antara jumlah total koloni dengan turunnya konsentrasi kromium (VI) pada konsentrasi 0,5% (v/v) dan 1% (v/v) adalah 0,810 dan 0,805 sedangkan pada parameter *COD* didapatkan 0,733 dan 0,893. Hal ini berarti nilai *p-value* yaitu $\geq 0,05$ yaitu kita menerima hipotesis yang artinya adanya keterkaitan satu sama lain antara turunnya konsentrasi kromium (VI) dan *COD* dengan pertumbuhan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*. Berdasarkan data yang di dapat, pertumbuhan bakteri pada konsentrasi 1% (v/v) lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 0,5% dikarenakan faktor konsentrasi bakteri yang dimasukkan berbeda. Selain itu, dapat ditarik kesimpulan bahwa bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat tumbuh pada media sampel yang minim akan nutrisi dibandingkan dengan media buatan seperti NB yang kaya akan nutrisi.

4.4 Analisis Pengaruh Parameter pH dan Suhu Terhadap Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* Dalam Mereduksi Cr (VI)

Hasil analisis menunjukkan bahwa pH dan suhu stabil selama pertumbuhan bakteri. Tidak ada perubahan yang signifikan dan kondisi lingkungan yang konsisten ini penting untuk memastikan pertumbuhan bakteri yang optimal dan menjaga stabilitas pH serta suhu membantu menjaga aktivitas enzim dan proses metabolisme yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan bakteri selama kegiatan pengujian berlangsung. Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* termasuk ke dalam kelompok mesofil, dengan nilai pH dengan rentang 9 dan suhu yang berkisar antara 20 – 45 °C serta nilai oksigen terlarut yang cukup stabil dengan kisaran 4,12 - 4,33 mg/l sehingga syarat-syarat bakteri sudah dapat terpenuhi untuk dapat tumbuh dengan optimal (Jufri, 2020)



(1)



Gambar 4. 4 (1) Hasil uji rentang nilai pH (2) Hasil uji rentang nilai suhu

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat menyisihkan kadar kromium (VI) pada konsentrasi 0,5 % (v/v) sebesar 72,57%, sedangkan untuk konsentrasi 1 % (v/v) sebesar 70,90%
2. Bakteri tersebut efektif dalam menurunkan nilai COD secara signifikan pada konsentrasi 0,5 % (v/v) sebesar 89,35%, sedangkan untuk konsentrasi 1 % (v/v) sebesar 89,18%

1.2 Saran

Adapun saran dari penelitian kali ini sebagai berikut :

1. Pada pengujian *Arthrobacter chlorophenolicus* perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap parameter Cr-VI pada jenis sampel lain sehingga bisa membandingkan efektivitas dari bakteri ini dalam mendegradasi kandungan Cr-VI pada air limbah.
2. Perlu adanya pengujian konsentrasi semua logam pada sampel dikarenakan adanya kemungkinan konsentrasi logam yang terkandung dalam air limbah akan turun.
3. Perlu adanya pengujian lebih lanjut apakah pada pengujian *Arthrobacter chlorophenolicus* efektif dalam meremoval kandungan COD pada air limbah.
4. Pada saat melakukan pengujian harus menggunakan peralatan steril untuk mencegah kontaminasi media pengujian oleh bakteri yang tidak diinginkan.
5. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) juga wajib dilakukan untuk menghindari kontak langsung dengan bahan berbahaya seperti pada pereaksi asam sulfat dan cairan $K_2Cr_2O_7$ Cr (VI) yang bersifat korosif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhianti, C., Sudarno, & Purwono. (2017). Pengaruh Aerasi Terhadap Karakteristik Lindi Hasil Pengolahan Sampah Sayuran dengan Metode Biodrying (Studi Kasus: Sawi Putih). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1).
- Astuti, F. A., Syafrudin, S., & Susilowati, I. (2023). Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4). <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.881-887>
- Atmanto, Y., Asri, L., & Kadir, N. (2022). Media Pertumbuhan Kuman. *Jurnal Medika Hutama*, 4(1).
- Bala, S., Garg, D., Thirumalesh, B. V., Sharma, M., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., & Tripathi, M. (2022). Recent Strategies for Bioremediation of Emerging Pollutants: A Review for a Green and Sustainable Environment. In *Toxics* (Vol. 10, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/toxics10080484>
- Chauhan, A., Pathak, A., Jaswal, R., Edwards, B., Chappell, D., Ball, C., Garcia-Sillas, R., Stothard, P., & Seaman, J. (2018). Physiological and comparative genomic analysis of *Arthrobacter* sp. SRS-W-1-2016 provides insights on niche adaptation for survival in uraniferous soils. *Genes*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/genes9010031>
- Damsir, Suprihatin, Romli, M., Yani, M., & Herlambang, A. (2016). KARAKTERISTIK LINDI HASIL FERMENTASI ANAEROBIK SAMPAH KOTA DALAM LISIMETER DAN POTENSI PEMANFAATANNYA MENJADI PUPUK CAIR. *Arie Herlambang Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(2).
- Dwisandi, R. F., Mutiara, F., Nurfauziah, E., & Meylani, V. (2021). effectiveness of indigenous local microorganisms in degrading hexavalent chromium (Cr(VI)) in Batik liquid waste. *Biological Environment and Pollution*, 1(1). <https://doi.org/10.31763/bioenvipo.v1i1.383>
- Elyasa, M. D. (2020). ANALISIS PENGARUH NILAI IPM DAN JUMLAH PENDUDUK TERHADAP TIMBUNAN SAMPAH DI TPA SE-PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG: SEBUAH STUDI PENDAHULUAN. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 8(1). <https://doi.org/10.21009/jgg.081.01>
- Fatwa, E. B., Yoswaty, D., & Effendi, I. (2021). Identification of Indigenous Bacteria from Dumai Sea Waters Using 16S rRNA Method. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 2(3). <https://doi.org/10.31258/jocos.2.3.184-188>
- González, A. J., Fortunato, M. S., Papalia, M., Radice, M., Gutkind, G., Magdaleno, A., Gallego, A., & Korol, S. E. (2015). Selection and identification of a bacterial community

- able to degrade and detoxify m-nitrophenol in continuous biofilm reactors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.029>
- Hartini, E., & Yulianto, Y. (2018). Kajian Dampak Pencemaran Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir terhadap Kualitas Air dan Udara. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 4(1).
- Hatano, T., & Tsuruta, T. (2017). Removal and Recovery of Chromium(III) from Aqueous Chromium(III) Using *Arthrobacter nicotianae* Cells. *Advances in Microbiology*, 07(06). <https://doi.org/10.4236/aim.2017.76038>
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan. *Serambi Engineering*, II(3).
- Jufri, R. F. (2020). The Effect of Environmental Factors on Microbial Growth. *Journal La Lifesci*, 1(1). <https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v1i1.32>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2). <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.41617>
- Khan, H. I. U. H., Groot, C. K., Schepers, O., Van Oirschot, D., Martens, M., Ronsse, F., & Rousseau, D. P. L. (2022). Effect of controlled aeration on COD and nitrogen removal in aerated constructed wetlands used for effluent polishing. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108043>
- Kuncoro, Y. M., & Soedjono, E. S. (2022). Studi Pustaka: Teknologi Pengolahan Air Limbah pada Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i3.99654>
- Kurniawati, E., Sri Hartini, I., & Risal Romadhoni, M. (2021). Edukasi Bahaya Kromium Dalam Kehidupan Sehari-hari. *Seminar Hasil Pengabdian Masyarakat*, 1.
- Lathifah, A. N., Asmara, A. A., Alfisyahr, F. A. N., & Maziya, F. B. (2021). Potency of Indigenous Bacteria of Mt. Merapi, *Arthrobacter chlorophenolicus* for Chromium (VI) Bioremediation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 933(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/933/1/012011>
- Murti, R. S., & Sugihartono, S. (2020). Bahaya Kromium Hexavalen (Cr VI) Pada Kulit Dan Produk Kulit Samak Krom Serta Upaya Pencegahannya. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2). <https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6536>
- Musa, N. S., & Ahmad, W. A. (2014). Chemical Oxygen Demand reduction in industrial

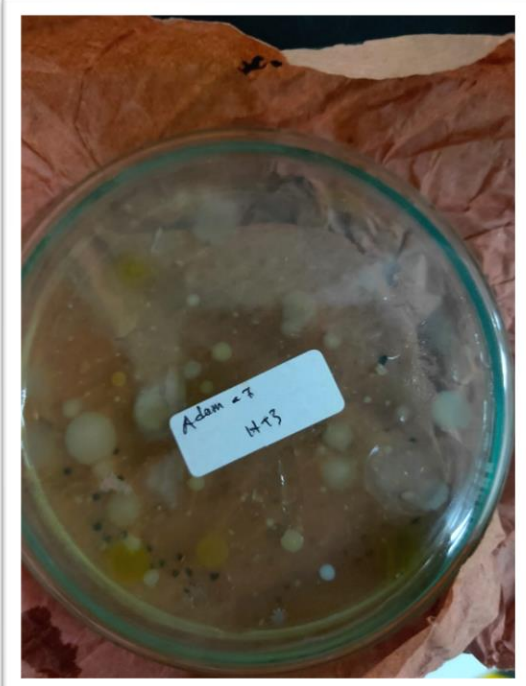
- wastewater using locally isolated bacteria. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 6(2). <https://doi.org/10.11113/mjfas.v6n2.188>
- Napitupulu, H. G., Rumengan, I. F. M., Wullur, S., Ginting, E. L., Rimper, J. R. T. S. L., & Toloh, B. H. (2019). *Bacillus* sp. SEBAGAI AGENSIA PENGURAI DALAM PEMELIHARAAN *Brachionus rotundiformis* YANG MENGGUNAKAN IKAN MENTAH SEBAGAI SUMBER NUTRIS. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7(1).
- Nnaji, N. D., Onyeaka, H., Miri, T., & Ugwa, C. (2023). Bioaccumulation for heavy metal removal: a review. In *SN Applied Sciences* (Vol. 5, Issue 5). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05351-6>
- Oliveira, H. (2012). Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/375843>
- Ololade, O. O., Mavimbela, S., Oke, S. A., & Makhadi, R. (2019). Impact of leachate from northern landfill site in Bloemfontein on water and soil quality: Implications for water and food security. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154238>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *INDONESIAN JOURNAL OF CHEMICAL RESEARCH*. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Rios-Miguel, A. B., van Bergen, T. J. H. M., Zillien, C., Ragas, A. M. J., van Zelm, R., Jetten, M. S. M., Hendriks, A. J., & Welte, C. U. (2023). Predicting and improving the microbial removal of organic micropollutants during wastewater treatment: A review. In *Chemosphere* (Vol. 333). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138908>
- Sahoo, M. M., Sahoo, N. K., Daverey, A., & Raut, S. (2022). Co-metabolic biodegradation of 4-bromophenol in a mixture of pollutants system by *Arthrobacter chlorophenolicus* A6. *Ecotoxicology*, 31(4). <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02508-0>
- Sahoo, N. K., Pakshirajan, K., Ghosh, P. K., & Ghosh, A. (2011). Biodegradation of 4-chlorophenol by *Arthrobacter chlorophenolicus* A6: Effect of culture conditions and degradation kinetics. *Biodegradation*, 22(2). <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9396-2>
- Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. (2018). PENGOLAHAN AIR LINDI DENGAN PROSES BIOFILTER ANAEROB-AEROB DAN DENITRIFIKASI. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2380>
- Setyaningrum, D., Anisa, Z., & Rasydta, H. (2022). Pengujian Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Tinggi Kalsium Klorida Menggunakan Metode

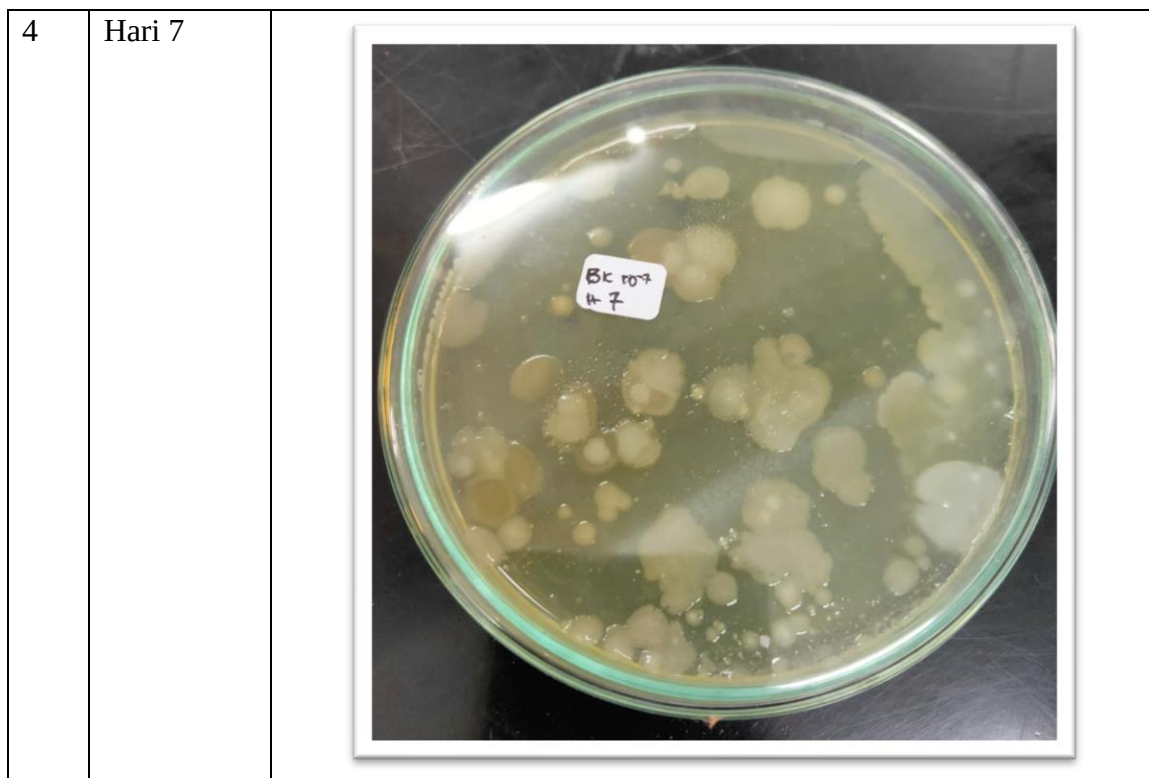
- Refluks Terbuka. *Formosa Journal of Science and Technology*, 1(4).
<https://doi.org/10.55927/fjst.v1i4.1050>
- Shi, Y., Tang, G., You, S., & Jiang, P. (2023). Effect of External Aeration on Cr (VI) Reduction in the *Leersia hexandra* Swartz Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell System. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/app13053309>
- Siddiq, A., & Faisal, M. (2020). Microbial degradation of organic pollutants using indigenous bacterial strains. In *Handbook of Bioremediation: Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00039-9>
- Tseng, C. H., Lee, I. H., & Chen, Y. C. (2019). Evaluation of hexavalent chromium concentration in water and its health risk with a system dynamics model. *Science of the Total Environment*, 669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.103>
- Vishal Gupta, N., & Shukshith, K. S. (2016). Qualification of autoclave. *International Journal of PharmTech Research*, 9(4).
- Wulandari, S., Nisa, Y. S., Taryono, T., Indarti, S., & Sayekti, R. S. (2022). Sterilisasi Peralatan dan Media Kultur Jaringan. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 4(2).
<https://doi.org/10.22146/a.77010>

LAMPIRAN

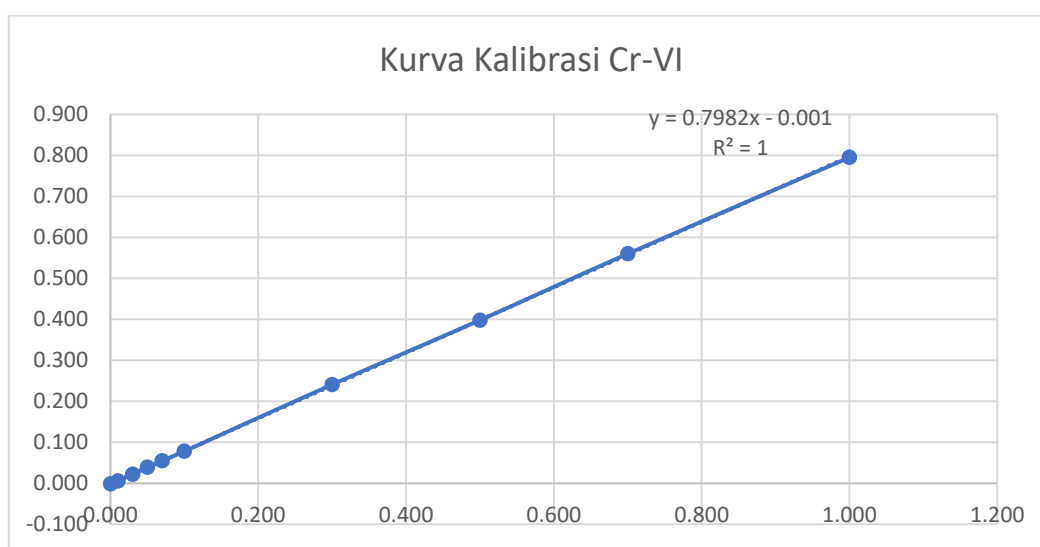
Lampiran 1 Hasil Pour Plate Bakteri

No	Konsentrasi 0,5%	Pengenceran 10^{-6}
1	Hari ke 3	
No	Konsentrasi 0,5%	Pengenceran 10^{-7}
2	Hari ke 3	

		
No	Konsentrasi 1%	Pengenceran 10^{-6}
3	Hari 7	
No	Konsentrasi 1%	Pengenceran 10^{-7}

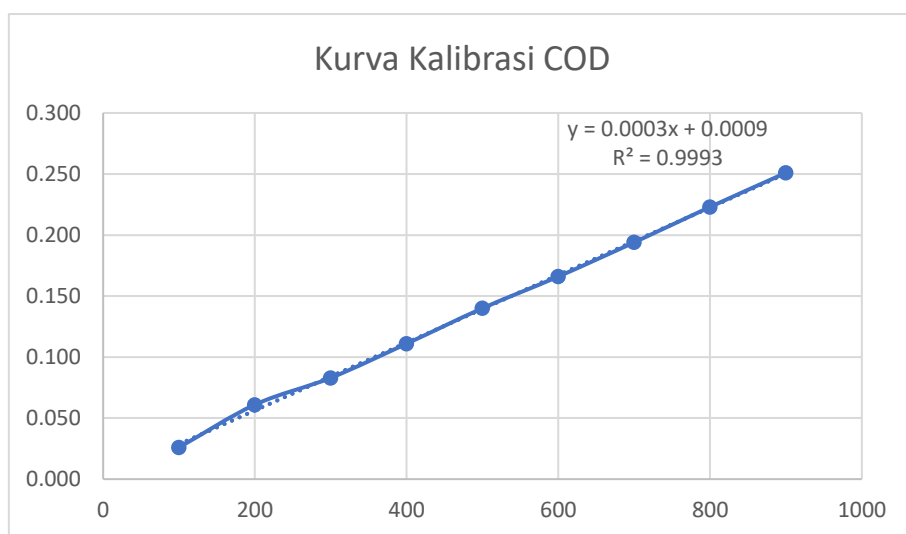


Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar



Data Absorbansi Larutan Standar Cr-VI

Kode	Conc (mg/l)	Abs
STD 1	0.000	-0.001
STD 2	0.010	0.006
STD 3	0.030	0.022
STD 4	0.050	0.039
STD 5	0.070	0.055
STD 6	0.100	0.078
STD 7	0.300	0.241
STD 8	0,500	0.398
STD 9	0.700	0,560
STD 10	1.000	0.795



Data Absorbansi Larutan Standar COD

Kode	Conc (mg/l)	Abs
STD 1	100	0.026
STD 2	200	0.061
STD 3	300	0.083
STD 4	400	0.111
STD 5	500	0.140
STD 6	600	0.166
STD 7	700	0.194
STD 8	800	0.223
STD 9	900	0.251

Lampiran 3 Hasil Perhitungan Konsentrasi Cr-VI

Hari	Rata-rata sampel (mg/l) Konsentrasi 0,5%	Rata-rata sampel (mg/l) Konsentrasi 1%	Kontrol 0,5%	Kontrol 1%
0	29.976	29.976	35.769	35.769
3	13.791	13.280	12.769	13.280
7	12.256	12.256	13.789	12.256
14	8.081	8.594	9.572	10.977

Lampiran 4 Hasil perhitungan COD

Hari	Rata-rata sampel (mg/l) Konsentrasi 0,5%	Rata-rata sampel (mg/l) Konsentrasi 1%	Sampel kontrol Konsentrasi 0,5%	Sampel kontrol Konsentrasi 0,5%
0	27642.113	27642.113	26694.428	26694.428
3	7557.927	14653.538	25597.615	30287.933
7	12308.378	9121.367	20005.312	21989.677
14	2943.776	2991.882	7537.883	6996.693

Lampiran 5 Hasil perhitungan TPC

Uji Pour Plate	
Konsentrasi 0.5% (10 ⁻⁶)	
Day 0	6.85E+07
Day 3	1.52E+08
Day 7	2.20E+07
Day 14	2.00E+07

Uji Pour Plate	
Konsentrasi 1% (10 ⁻⁶)	
Day 0	4.50E+07
Day 3	1.64E+08
Day 7	5.45E+07
Day 14	3.35E+07

Lampiran 6 Hasil Uji OD

Konsentrasi 0,5%				
Hari	Control	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
Day 0	0.256	0.265	0.260	0.261
Day 3	0.345	0.290	0.273	0.237
Day 7	0.140	0.402	0.317	0.375
Day 14	0.294	0.678	0.576	1.056

Konsentrasi 0,5%				
Hari	Control	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
Day 0	0.272	0.265	0.260	0.261
Day 3	0.118	0.268	0.225	0.283
Day 7	0.153	0.358	0.255	0.389
Day 14	0.325	0.618	0.393	0.843

Lampiran 7 Hasil Uji Nilai pH dan Suhu

Hari ke 0		
0.50%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	8	27.5
1	8	27.5
2	8	27.5
3	8	27.5

Hari ke 3		
0.50%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	8	27.5
1	8	27.5
2	8	27.5
3	8	27.5

Hari ke 3		
0.50%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	9	27.5
1	9	27.5
2	9	27.5
3	9	27.5

Hari ke 3		
0.50%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	9	27.5
1	9	27.5
2	9	27.5
3	9	27.5

Hari ke 0		
1%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	8	27.5
1	9	27.5
2	7	27.5
3	9	27.5

Hari ke 3		
1%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	8	27.5
1	8	27.5
2	8	27.5
3	8	27.5

Hari ke 7		
1%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	9	27.5
1	9	27.5
2	9	27.5
3	9	27.5

Hari ke 14		
1%		
Sampel	pH	Suhu
Kontrol	9	27.5
1	9	27.5
2	9	27.5
3	9	27.5

Lampiran 8 Hasil Uji Statistik menggunakan SPSS

Uji Standar Deviasi Cr(VI) konsentrasi 0,5%

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
Cr0.5	4	9.06	29.98	16.2725	4.67421	9.34842
KontrolCR0.5	4	9.57	35.77	17.7193	6.06716	12.13432

Uji Standar Deviasi Cr(VI) konsentrasi 1%

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
Cr1	4	8.55	29.98	15.6775	4.84195	9.68391
KontrolCR1	4	10.98	35.77	18.0705	5.91828	11.83655

Uji Standar Deviasi COD konsentrasi 0,5%

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
COD0.5	4	2943.78	27642.11	12432.6500	5307.49826	10614.99652
KontrolCOD0.5	4	7537.88	28483.97	20406.1938	4636.40819	9272.81638

Uji Standar Deviasi COD konsentrasi 1%

	N	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
COD1	4	2991.88	27642.11	13602.2250	5251.04050	10502.08101
KontrolCOD0.5	4	7537.88	28483.97	20406.1938	4636.40819	9272.81638

Lampiran 9 Dokumentasi Kegiatan



Proses pengambilan air limbah di TPA Piyungan



Reaktor konsentrasi bakteri 0,5 % dan 1%