

TA/TL/2021/1297

TUGAS AKHIR

**STUDI KEMAMPUAN BAKTERI *ARTHROBACTER
CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LIMBAH CHROMIUM (VI)**

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



F. ANISA NOOR ALFISYAHR

17513159

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

TUGAS AKHIR
STUDI KEMAMPUAN BAKTERI *ARTHROBACTER*
***CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN**
BIOREMEDIASI LIMBAH CHROMIUM (Cr VI)

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



F. ANISA NOOR ALFISYAHR
17513159

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Fina Binazir M, S.T., M.T
NIK. 165131305
Tanggal: 1 Juni 2021

Annisa Nur L, S.Si., M.Biotech., Ph.D
NIK.155130505
Tanggal: 28 Mei 2021

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES.,Ph.D
NIK. 025100406
Tanggal: 14 Juni 2021





HALAMAN PENGESAHAN
STUDI KEMAMPUAN BAKTERI *ARTHROBACTER*
***CHLOROPHENOLICUS* SEBAGAI AGEN**
BIOREMEDIASI LIMBAH CHROMIUM (Cr VI)

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 7 Juni 2021

Disusun Oleh:

F. ANISA NOOR ALFISYAHR

17513159

Tim Penguji :

Penguji 1 : Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.

()

Penguji 2 : Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D.

()

Penguji 3 : Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng.

()



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum 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 dan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. 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,

pernyataan,



F. Anisa Noor Alfisyahr

NIM: 17513159



PRAKATA



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi Kemampuan Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Chromium (Cr VI)”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan sehingga lancar dalam pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
3. Bapak Dr Awaluddin Nurmiyanto selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan.
4. Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Annisa Nur Latifah, S.Si., M.Biotech., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah sabar dan ikhlas dalam mendidik selama ini.
5. Ibu Adelia Anju Asamara, S.T., M.Eng. Selaku dosen *reviewer* yang telah sabar dan ikhlas dalam mendidik selama ini.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan 2017 yang selalu membantu dalam bentuk materiil maupun moriil.
7. Semua pihak yang telah bersedia membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Pengerjaan tugas akhir yang penulis susun ini belum mencapai sempurna. Maka penulis berharap kritik serta saran membangun untuk disampaikan sebagai koreksi bagi penulis dalam memperbaiki tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta,

F. Anisa Noor Alfisyahr





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

F. ANISA NOOR ALFISYAHR. Studi Kemampuan Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Chromium (Cr VI). Dibimbing oleh FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T. dan ANNISA NUR LATHIFAH, S.Si., M.Biotech., Ph.D.

Penggunaan Chromium (VI) dalam proses produksi seperti pada industri penyamakan kulit yang menghasilkan limbah berbahaya apabila dibuang ke lingkungan perairan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas air yang berefek pada makhluk hidup. Studi mengenai analisis limbah Chromium sebagai polutan dapat direduksi dengan berbagai macam pengolahan salah satunya secara biologis dengan memanfaatkan peran bakteri. *Arthrobacter chlorophenolicus* merupakan bakteri pionir yang mampu bertahan pada kondisi minimal nutrisi utama yaitu Carbon dan Nitrogen. Tujuan penelitian ini adalah dengan adanya karakteristik bakteri pionir tersebut menjadi potensi baik bagi bakteri tersebut jika digunakan sebagai agen bioremediasi. Metode penelitian dilakukan dengan menumbuhkan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media tumbuh minimal nutrisi dan media maksimal nutrisi sebagai pembandingnya yang ditambahkan dengan limbah Chromium dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm selama 8 hari. Hasil penelitian menunjukkan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* sebanyak $0,4 \times 10^9$ cfu/ml yang ditumbuhkan pada media minimal nutrisi dan maksimal nutrisi yang mengandung logam Cr (VI) dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm mampu tumbuh secara signifikan dan berhasil mereduksi limbah Cr (VI) hingga 83%. Bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat dijadikan sebagai kandidat agen bioremediasi limbah Chromium.

Kata kunci: Absorbansi, *Arthrobacter chlorophenolicus*, Chromium, Reduksi.

ABSTRACT

F. ANISA NOOR ALFISYHR. *Study of the Ability of Arthrobacter chlorophenolicus As a Waste Chromium (Cr VI) Bioremediation Agent. Supervised by FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T., and ANNISA NUR LATHIFAH, S.Si., M.Biotech., Ph.D.*

The use of Chromium (VI) in the production process such as in the leather tanning industry which produces hazardous waste when disposed of directly into the aquatic environment can have a negative impact on water quality which has an effect on human health and aquatic biota. Studies on the analysis of Chromium (VI) waste as a pollutant can be reduced by various kinds of processing, one of which is biologically by utilizing the role of bacteria. Arthrobacter chlorophenolicus is a pioneer bacteria that is able to survive in the minimum conditions of the main nutrients. The purpose of this study was that the characteristics of these pioneer bacteria would be good potential for these bacteria if used as a bioremediation agent. The results of research was carried out by growing the Arthrobacter chlorophenolicus on the minimum nutrient growth media and the maximum nutrient media as comparison which was added with Chromium (VI) waste with a concentration of 5, 10, 20 ppm for 8 days. The results showed that the Arthrobacter chlorophenolicus as much as 0,4 A or 10^9 cfu.ml were grown on minimal nutrient media and maximum nutrients containing Cr (VI) up 83%. Arthrobacter chlorophenolicus bacteria can be used as a candidate for Chromium waste bioremediation agent.

Keywords: Absorbance, *Arthrobacter chlorophenolicus*, Chromium, Reduction.





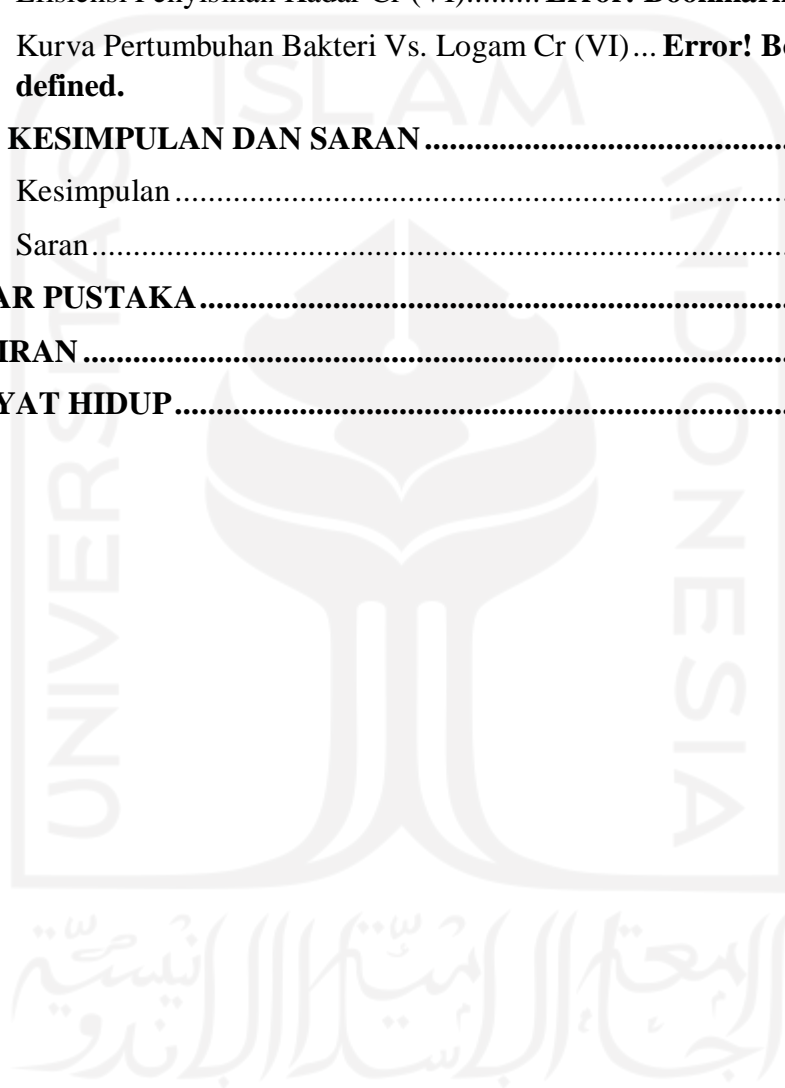
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vii
PRAKATA	ix
ABSTRAK	xii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pencemaran Logam Berat dalam Perairan.....	4
2.2. Dampak Pencemaran Logam Berat.....	6
2.3. Bioremediasi	6
2.4. Mikroba Yang Berperan Dalam Bioremediasi	7
2.5. Analisis AAS	8
2.6. Penelitian Terdahulu	8
BAB III METODE PENELITIAN	11
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	11
3.2. Metode Penelitian.....	11
3.3. Prosedur Analisis Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1. Media Tumbuh Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	18
4.2. Inokulasi Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> pada Media Tumbuh ...	20

4.3. Analisis Aklimatisasi Pertumbuhan Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> pada Media NB+ $K_2Cr_2O_7$	21
4.4. Analisis Pertumbuhan Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> pada Media Tumbuh + $K_2Cr_2O_7$	26
4.5. Analisis Perhitungan TPC	Error! Bookmark not defined.
4.6. Efisiensi Penyisihan Kadar Cr (VI).....	Error! Bookmark not defined.
4.7. Kurva Pertumbuhan Bakteri Vs. Logam Cr (VI)...	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1. Kesimpulan	38
5.2. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	45
RIWAYAT HIDUP.....	51







“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Studi Literatur Penelitian Terdahulu	9
Tabel 4.1. Hasil OD Media NB+<i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Setelah Inkubasi 2x24 Jam	21
Tabel 1.2. Hasil OD <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media Maksimal Nutrisi Selama 8 Hari (192 Jam).....	23
Tabel 4.3. Jumlah Koloni Pada Media Maksimal Nutrisi.....	24
Tabel 4.4. Hasil Rerata Nilai OD Pada Media Minimal Nutrisi Selama 192 Jam.....	26
Tabel 4.5. Jumlah Koloni selama 192 Jam Inkubasi Pada Media Minimal Nutrisi.....	28
Tabel 4.6. Konsentrasi Penyisihan Kadar Cr VI Setelah Inkubasi Selama 192 Jam.....	29
Tabel 4.7. Hasil Uji Parameter pH dan Suhu Media Minimal dan Maksimal Nutrisi.....	31





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR GAMBAR

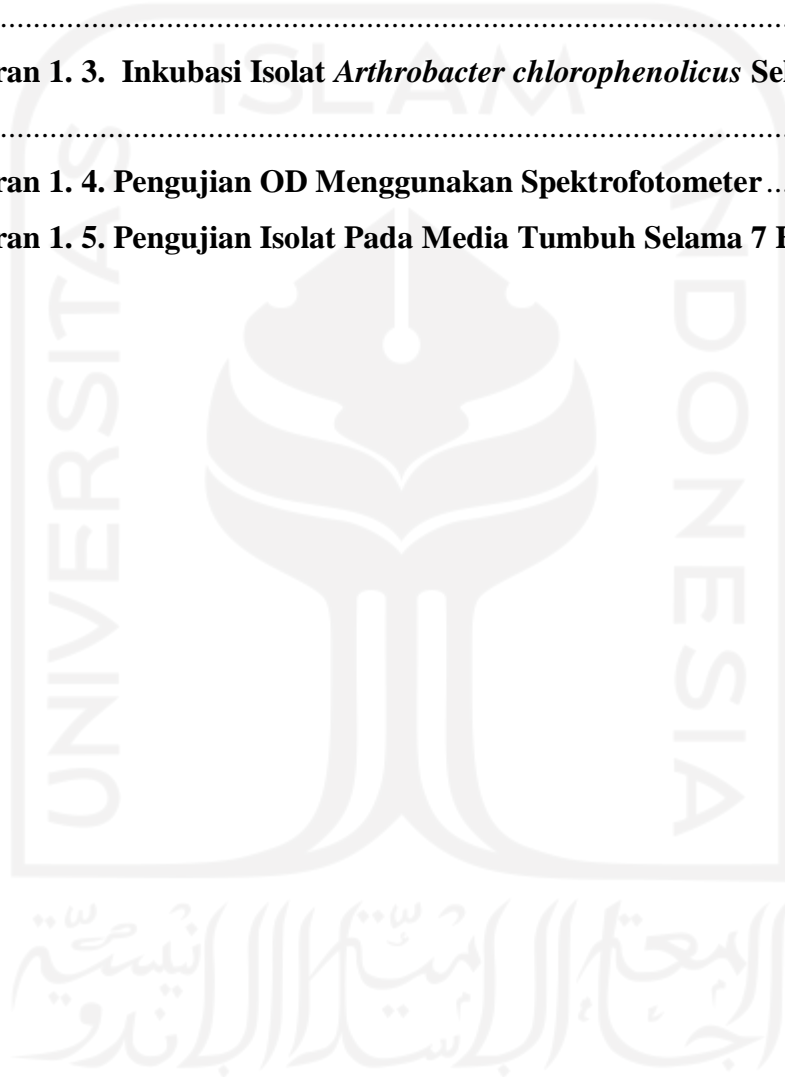
Gambar 1.1. Skema Kerangka Berpikir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.1. <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	8
Gambar 3.1. Tahapan Penelitian	11
Gambar 3.2. Perlakuan Konsentrasi Logam Cr Terhadap Media <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	16
Gambar 4.1. Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Dalam Media Agar NA ..	18
Gambar 4.2. Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Dalam Media Agar Miring	19
Gambar 4.3. Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> BRU 37 Single Colony	20
Gambar 4.4. Pertumbuhan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media Maksimal Nutrisi+Cr (VI) Dalam Jam.....	192 24
Gambar 4.5. Grafik Pertumbuhan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Selama Inkubasi 192Jam.....	27
Gambar 4.6. Grafik Reduksi Cr VI 5 ppm Selama 192 Jam Inkubasi.....	30
Gambar 4.7. Grafik Pertumbuhan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media Maksimal Nutrisi VS. Reduksi Cr VI Selama 192 Jam Inkubasi.....	33
Gambar 4.8. Grafik Pertumbuhan <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media Minimal Nutrisi VS. Reduksi Cr VI Selama 192 Jam Inkubasi.....	33



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1. Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media Padat Petri	45
Lampiran 1. 2. Inokulasi Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Pada Media NB	45
Lampiran 1. 3. Inkubasi Isolat <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> Selama 2x24 jam	46
Lampiran 1. 4. Pengujian OD Menggunakan Spektrofotometer	46
Lampiran 1. 5. Pengujian Isolat Pada Media Tumbuh Selama 7 Hari	47





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Perkembangan dunia industri seringkali menimbulkan permasalahan terhadap pencemaran lingkungan. Penggunaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) seperti logam berat chromium yang digunakan pada proses produksi sebagai pewarna dapat menghasilkan limbah berbahaya yang apabila dibuang langsung ke lingkungan perairan dapat menimbulkan dampak terhadap kualitas air di lingkungan. Kegiatan industri terutama industri tekstil menggunakan bahan B3 pada proses produksinya, misalnya industri penyamakan kulit di PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang yang menggunakan senyawa Chromium untuk produksinya (Asmadi, 2009). Selain itu, penggunaan pewarna sintetis pada industri batik seperti yang dilakukan oleh industri Batik Surakarta juga mengandung logam berat seperti Chromium yang juga dapat berdampak pada penurunan kualitas lingkungan dan berefek pada kesehatan manusia. Toksisitas logam berat dapat mempengaruhi kualitas perairan, tanah, dan udara. Dalam perairan, kandungan logam berat membawa sifat racun yang dapat merugikan biota air dan kondisi air menjadi keruh, kekuningan dan berbahaya apabila dikonsumsi (Murniati *et al.*, 2015).

Studi mengenai analisis limbah Chromium sebagai polutan dapat direduksi dengan berbagai macam pengolahan. Salah satunya metode pengolahan limbah Chromium secara biologis yaitu dengan memanfaatkan peran bakteri, yang dikenal dengan istilah bioremediasi. Pengolahan limbah Chromium secara biologis tergolong efisien dalam pengurangan konsentrasi polutan dan efektif untuk program mitigasi skala besar (Dey *et al.*, 2018). Beberapa penelitian yang telah dilakukan antara lain oleh (Molokwane *et al.*, 2008) menggunakan bakteri *Arthrobacter* sp. yang mampu mereduksi Cr (VI) hingga 94,3% dari konsentrasi awal 100 mg/L dalam 24 jam inkubasi. Satarupa Dey (2012), menggunakan bakteri *Arthrobacter* sp. SUK 1201 sebagai remediator dapat menunjukkan 67% reduksi pada 2 mM Chromat dalam waktu 7 hari inkubasi.

Mengingat dampak limbah logam berat Chromium yang berbahaya bagi lingkungan dan masih banyak digunakan oleh kegiatan produksi industri serta karakteristik toksisitasnya yang tinggi sangat perlu untuk dikaji lebih dalam penanganannya berdasarkan uraian latar belakang di atas, pengembangan kajian yang lebih komprehensif terkait upaya penurunan kandungan limbah logam Chromium menggunakan bakteri dari genus *Arthrobacter* sp. masih perlu dilakukan. Penelitian ini menggunakan isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* hasil isolasi dari deposit vulkanik Merapi setelah letusan tahun 2010. Bakteri tersebut merupakan bakteri pionir yang mampu bertahan pada kondisi minimal nutrisi utama yaitu Carbon dan Nitrogen (Lathifah *et al.*, 2019). Adanya karakteristik tersebut menjadi potensi baik bagi bakteri tersebut jika digunakan sebagai agen bioremediasi serta keterbaruan dalam penelitian ini tanpa menggunakan nutrisi utama dalam pertumbuhan isolat bakteri menjadi tantangan yang perlu dipecahkan. Oleh karena itu melalui penelitian ini akan diuji kemampuannya dalam meremediasi limbah B3, khususnya logam Chromium (VI).

1.2.Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana hubungan pertumbuhan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* terhadap reduksi logam Cr (VI) pada berbagai konsentrasi?
2. Bagaimana pengaruh waktu inkubasi terhadap pertumbuhan dan reduksi logam Cr (VI) oleh *Arthrobacter chlorophenolicus*?

1.3.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari kemampuan penyisihan logam Cr (VI) oleh isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* pada berbagai konsentrasi.
2. Mempelajari pengaruh waktu inkubasi terhadap kemampuan *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi logam Cr (VI).

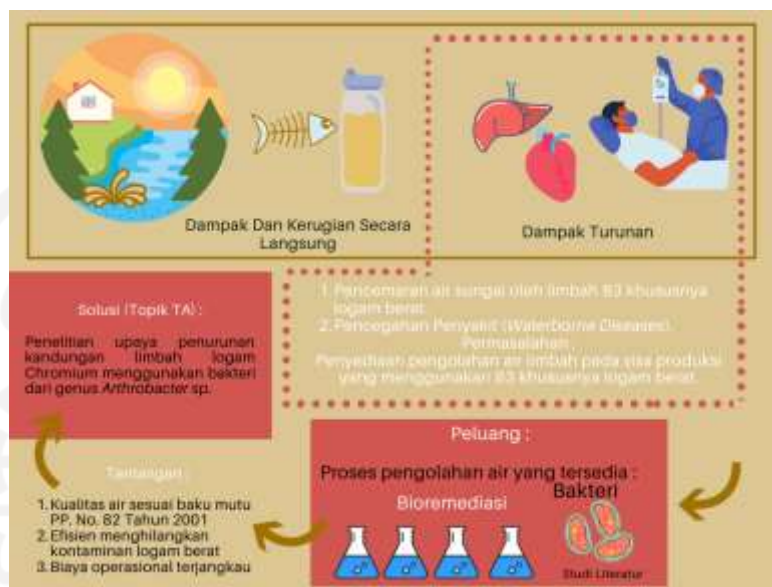
1.4. Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan pemerintah dalam melakukan upaya pengendalian pencemaran air oleh kandungan logam Cr (VI).
2. Memberikan informasi mengenai pentingnya reduksi logam Cr (VI) dalam suatu limbah B3 untuk menghindari dampak buruk pada lingkungan dan juga bagi kesehatan manusia.

1.5. Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) di Laboratorium Bioteknologi, Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia (UII).
2. Parameter yang akan diteliti adalah perbedaan konsentrasi logam Cr (VI) sebelum dan setelah dilakukan inokulasi bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*, temperatur, dan pH.
3. Pengujian pengaruh waktu inkubasi kemampuan *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi logam Cr (VI).
4. Pengujian efisiensi penyisihan kadar logam Cr (VI) menggunakan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 1.1. Kerangka Berpikir Penelitian

2.1. Pencemaran Logam Berat dalam Perairan

Pencemaran lingkungan yang sering ditemukan di perairan salah satunya disebabkan oleh logam berat. Kontaminan-kontaminan secara terus-menerus dibuang ke lingkungan perairan seiring dengan peningkatan industrialisasi, perkembangan teknologi, pertumbuhan populasi manusia, dan eksploitasi sumber daya alam. Di antara berbagai kontaminan, logam berat merupakan salah satu kelompok polutan yang paling berbahaya karena sifatnya yang persisten, toksisitas, kecenderungan terakumulasi dalam organisme, dan mengalami penguatan rantai makanan yang tidak dapat terurai (Sankhla, 2016).

Logam berat merupakan salah satu komponen alami pada bumi yang tidak dapat dihancurkan dan memiliki efek kesehatan yang merugikan dalam metabolisme misalnya seperti logam Chromium yang memiliki konsentrasi melebihi baku mutu dapat menimbulkan kekhawatiran keberadaannya di lingkungan. Pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dilampirkan bahwa batasan baku mutu logam berat Chromium yang diperuntukkan sebagai

air minum, sarana rekreasi dan untuk pembudidayaan ikan tawar tidak mengandung logam berat Chromium melebihi 0,05 mg/L.

Pencemaran logam berat yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan perairan dan juga keanekaragaman ekosistemnya. Kerusakan ekosistem yang terjadi akibat pencemaran logam berat yang dipengaruhi oleh kadar dan sumber pencemar yang masuk dalam suatu perairan, sifat toksisitas, dan juga bioakumulasinya (Darmono, 2008).

Logam berat teridentifikasi sebanyak 80 dari 109 jumlah unsur kimia. Berdasarkan toksisitasnya terbagi menjadi dua jenis logam berat, yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Pada logam berat yang termasuk esensial dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, contohnya seperti Zn, Cu, Fe, Mn, dan Co. Sedangkan logam non-esensial merupakan logam berat yang beracun yang apabila masuk ke dalam tubuh belum diketahui jelas fungsinya, contohnya seperti Hg, Cd, Pb, Cr. Logam berat yang terakumulasi ke dalam tubuh dalam konsentrasi yang sedikit pun dapat menimbulkan keracunan bagi tubuh, menghambat kerja enzim, sehingga proses metabolisme didalam tubuh menjadi terganggu (Darmono, 2008).

Salah satu jenis logam berat yang berbahaya bagi lingkungan dan kelangsungan makhluk hidup adalah logam Chromium (VI) murni yang tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk "Chromite" (FeOCr_2O_3). Logam Chromium dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan seperti perairan, tanah, ataupun udara (Asmadi, 2009).

Logam Chromium dapat ditemukan di perairan, tanah, ataupun udara. Namun logam berat jenis ini sering dijumpai dikegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga, dan pembakaran. Logam berat Cr keberadaannya di perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik karena memiliki daya racun yang tinggi yang dapat mengakibatkan keracunan akut dan keracunan kronis (Listiana, 2013).

2.2. Dampak Pencemaran Logam Berat

Pencemaran logam berat dapat menimbulkan dampak penurunan kualitas lingkungan dan berefek pada kesehatan manusia. Toksisitas logam berat dapat mempengaruhi kualitas perairan, tanah, dan udara. Dalam perairan, kandungan logam berat membawa sifat racun yang dapat merugikan biota air dan kondisi air menjadi keruh, kekuningan dan berbahaya apabila dikonsumsi (Listiana, 2013).

Logam berat memiliki sifat berdaya larut yang tinggi di lingkungan. Melalui rantai makanan, logam berat dapat terdeposit ke dalam tubuh makhluk hidup yang pada konsentrasi rendah maupun tinggi dapat menyebabkan keracunan. Apabila masuk ke dalam sel dapat menyebabkan kerusakan pada struktur DNA hingga menyebabkan mutasi genetik. Terakumulasinya logam berat dalam jumlah besar di tubuh manusia mengganggu kesehatan dan berdampak negatif pada kerja organ hati, ginjal, serta berbahaya bagi proplasma makhluk hidup. Selain itu, Sifat karsinogen pada logam berat dapat menyebabkan kanker, teratogen yang menghambat pertumbuhan janin dan mutagen (Schiavon *et al.*, 2008).

2.3. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan pendegradasian bahan organik yang berbahaya secara biologis dapat diubah menjadi Karbon dioksida (CO₂), Metana, dan air. Bioremediasi digunakan untuk menghilangkan polutan yang mengontaminasi tanah, air, dan sedimen. Pada dasarnya bioremediasi merupakan teknologi yang dapat mengatasi masalah pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan mikroorganisme misalnya seperti *Arthrobacter chlorophenolicus* yang dapat dimanfaatkan sebagai bioremediator untuk menghilangkan kandungan logam berat Chromium pada media air dan tanah (Rcheulishvili *et al.*, 2019).

Proses bioremediasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tanah yang dapat mendukung aliran *nutrient* dan enzim mikrobial, temperatur yang optimal untuk mengontrol mikroorganisme, pH, dan oksigen yang dibutuhkan

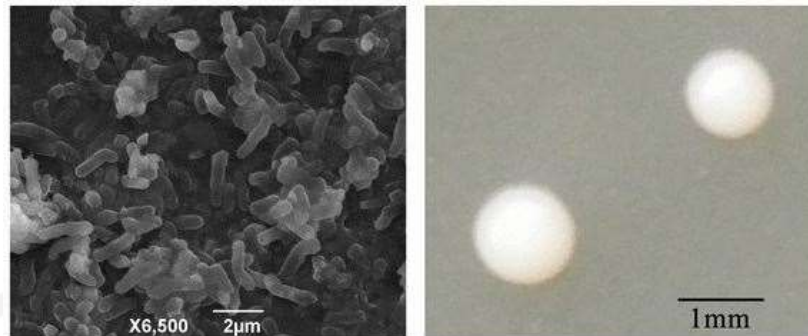
dalam biodegradasi bahan organik, dan nutrisi sebagai sumber karbon (Rcheulishvili *et al.*, 2019).

2.4. Mikroba Yang Berperan Dalam Bioremediasi

Secara umum, pembagian jenis mikroba dibagi menjadi golongan bakteri, khamir, fungi, *yeast*, dan alga. Mikroba merupakan organisme dengan ukuran yang sangat kecil yang dapat bersifat patogen dan terdapat juga yang bermanfaat untuk mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (Gelagutashvili *et al.*, 2015).

Salah satu jenis mikroba yang berperan untuk mendegradasi zat pencemaran adalah seperti *Arthrobacter* sp., *Acinobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., dan lain-lain. *Arthrobacter* sp. dapat berperan dalam mendegradasi kandungan logam berat Chromium (Gelagutashvili *et al.*, 2015). *Arthrobacter chlorphenolicus* merupakan salah satu mikroorganisme yang termasuk ke dalam bakteri aerobik dengan jenis gram positif, tidak berspora, aerobik, tidak menyukai asam, dan kemoorganotropik. *Arthrobacter* sp. memiliki bentuk batang yang tidak teratur yaitu 0,8-1,2 x 1-8 mikrometer dan pada masa pertumbuhannya batang segmentasi akan berbentuk coccus kecil dengan diameter 0,6-1 mikrometer. Katalase positif pada bakteri ini dan temperatur optimumnya 25-30°C (Khusnuryani *et al.*, 2015).

Menurut Lathifah *et al.*, 2019, jenis mikroorganisme *Arthrobacter chlorphenolicus* ini dapat ditemukan pada tanah hasil erupsi gunung berapi salah satunya dapat ditemukan di Gunung Merapi. Mikroorganisme ini merupakan jenis mikroorganisme pionir yang dapat memulai dan mencari nutrisinya sendiri sehingga mampu bertahan hidup. Menariknya adalah mikroorganisme ini efektif digunakan untuk proses bioremediasi logam berat berbahaya seperti penelitian yang dilakukan oleh Molokwane *et al.*, 2018, bakteri *Arthrobacter* sp. mampu mereduksi Cr (VI) hingga 94,3% dari konsentrasi awal 100 mg/L dalam 24 jam inkubasi.



Gambar 2.1. *Arthrobacter chlorophenolicus*

(Sumber : link.springer.com, 2020)

2.5. Analisis Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer ultraviolet-sinar tampak atau spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu alat instrumen untuk mengukur transmittan atau absorben pada suatu sampel pada panjang gelombang tertentu yang bergantung pada senyawa yang akan diuji. Alat ini digunakan dengan memanfaatkan sinar dengan panjang gelombang 180-380 nm untuk daerah ultraviolet dan 380-780 nm untuk daerah sinar tampak (Warono, 2013).

Instrumen Spektrofotometer UV-Vis berfungsi untuk mengetahui nilai absorbansi pada sampel tertentu. Sehingga dalam penelitian pengolahan limbah diperlukan instrumen ini untuk mengetahui konsentrasi berdasarkan nilai absorbansi kandungan logam dalam sampel uji. Pengujian kandungan total Chromium (VI) dalam media yang terkandung bakteri menggunakan panjang gelombang 535,9 nm dan batas deteksi instrumentasi pada pengukuran Chromium (VI) 0,02 µg/ml (Rcheulishvili *et al.*, 2019).

2.6. Penelitian Terdahulu

Kegiatan inventarisasi dan identifikasi reduksi kadar logam Chromium dalam air menggunakan biakan mikroorganisme *Arthrobacter chlorophenolicus* sebelumnya telah memiliki studi-studi terdahulu. Hasil dari literatur sebelumnya antara lain:

Tabel 2.1. Studi Literatur Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul Penelitian	Hasil dan Pembahasan
Gelagutashvili <i>et al.</i> , 2011	Biosorption of Cr (VI) and Cr (III) <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>	Metode penelitian yang dilakukan dengan menggunakan perbandingan karakteristik dari <i>Arthrobacter globiformis</i> dan <i>Arthrobacter oxydans</i> dalam biosorption Cr (VI) dan Cr (III).
Satarupa <i>et al.</i> , 2012	Optimization of Cultural Conditions for Growth Associated Chromate Reduction By <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> SUK 1201 Isolated from Chromite mine Overbuden	Metode penelitian yang digunakan dalam identifikasi kadar logam Chromium yang direduksi oleh mikroorganisme <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> menggunakan analisis FTIR dan EDX. Inventarisasi dimulai dengan membandingkan beberapa jenis logam berat dengan dengan waktu inkubasi yang berbeda dan perbandingan beberapa inhibitor terhadap pertumbuhan dan reduksi logam Chromium oleh <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>
Saranraj <i>et al.</i> , 2013	Microbial Bioremediation of chromium in Tannery Effluent	Metode penelitian yang dilakukan dalam identifikasi reduksi kadar logam Chromium (VI) dalam limbah penyamakan kulit yang direduksi oleh berbagai biakkan mikroorganisme salah satunya <i>Arthrobacter chlorophenolicus</i>

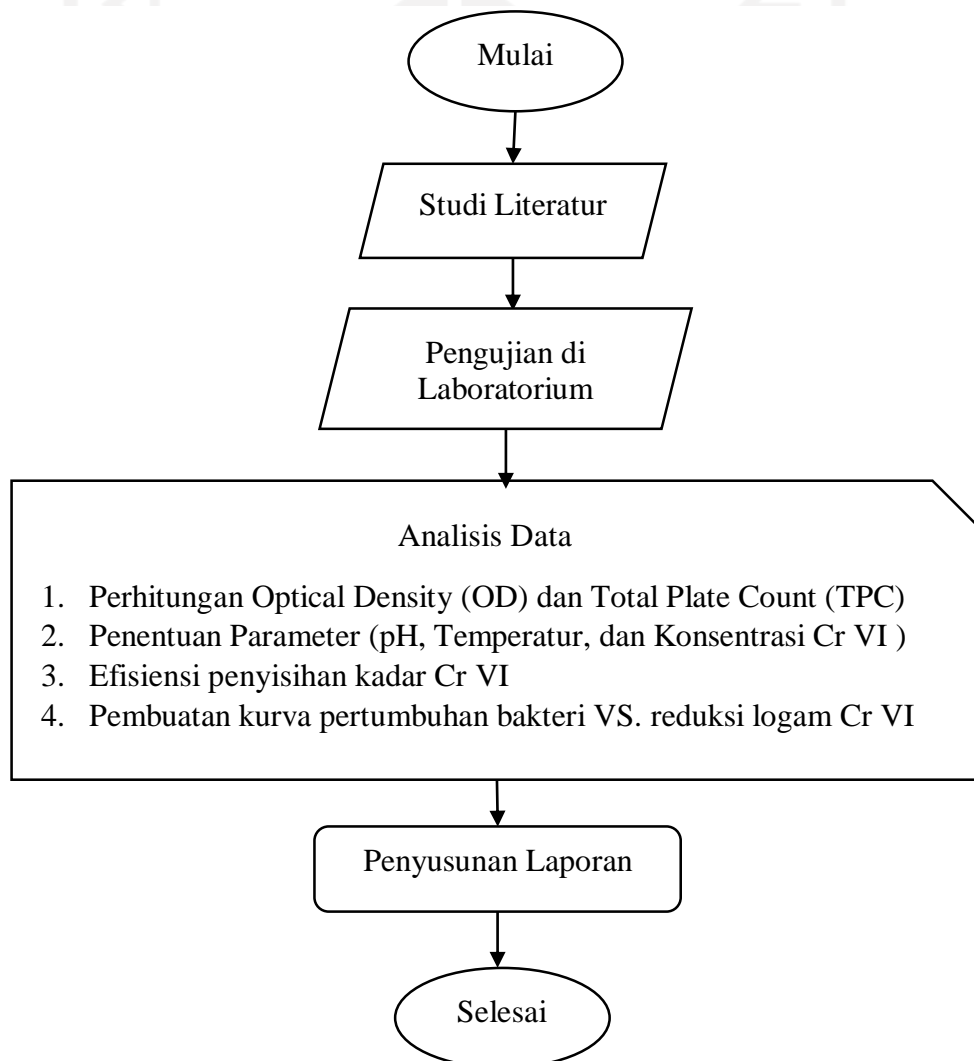
Hatano <i>et al.</i> , 2017	Removal and Recovery of Chromium (III) from Aqueous Chromium (III) Using <i>Arthrobacter nicotianae</i> Cells	Metode penelitian yang digunakan adalah mereduksi logam Cr (III) dengan menggunakan mikroorganisme <i>Arthrobacter nicotianae</i> Cells, dalam pengujiannya menggunakan parameter pH
Rcheulishvili <i>et al.</i> , 2018	Heavy Metal Specific Proteomic Responses of a Highly Resistant <i>Arthrobacter globiformis 151B</i>	Penelitian yang dilakukan dengan mengidentifikasi reduksi logam berat melalui bioremediasi dengan bioremediator bakteri <i>Arthrobacter globiformis 151B</i> dengan 3 kondisi yang berbeda. Kondisi 1 dengan Cr (VI), kondisi 2 dengan Zn (II), dan kondisi 3 tanpa Cr (VI) dan Zn (II).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dimulai pada 9 November 2020 sampai 16 Maret 2021.

3.2. Metode Penelitian



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

Penentuan metode yang tepat sangat diperlukan dalam sebuah penelitian, karena metode penelitian yang berisi langkah-langkah sistematis dapat memudahkan dalam pencapaian tujuan penelitian. Kegiatan analisis penyisihan logam berat Cr (VI) dengan menggunakan bioremediator bakteri digunakan untuk mengurangi bahkan menghilangkan polutan dalam suatu limbah. Sumber Cr (VI) yang digunakan dalam penelitian ini adalah senyawa $K_2Cr_2O_7$ atau yang biasa disebut dengan limbah sintesis. Cr dalam senyawa $K_2Cr_2O_7$ memiliki bilangan oksidasi $+6$ atau disebut Cr (VI) yang kemudian akan dilakukan remediasi dengan inokulasi bakteri (Rcheuishvili *et al.*, 2019).

Penelitian ini menggunakan variabel bebas yang mempengaruhi analisis antara lain bioremediasi menggunakan waktu inkubasi 24 jam, 120 jam, dan 168 jam, pH 7, dan konsentrasi sampel 5, 10, 20 ppm. Variabel terikat untuk mengukur adanya pengaruh variabel bebas dalam proses bioremediasi adalah perubahan konsentrasi larutan media mineral spesifik+ $K_2Cr_2O_7$. Variabel kontrol ditentukan untuk mengetahui perbedaan perlakuan dari kedua bakteri yaitu bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* yang merupakan hasil isolasi dari vulkanik deposit Gunung Merapi oleh Lathifah *et al.*, (2019) dan kontrol negatif sebagai pembanding yang digunakan pada penelitian ini menggunakan media yang sama namun tanpa ditambahkan *Arthrobacter chlorophenolicus* sehingga dapat diperoleh perbedaan.

Pada tahapan ini akan dijelaskan tahapan penelitian secara umum. Studi literatur akan terlebih dahulu dilakukan sebelum dimulai penelitian. Diagram proses pelaksanaan ditampilkan dalam **Gambar 3.1**. Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan penelitian dari awal hingga akhir serta menjadi pedoman memperoleh dasar teori yang jelas dan kuat. Acuan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada sumber-sumber yang akurat dan terbaru dengan

maksimal diterbitkan 15 tahun yang lalu. Harapannya dengan sumber-sumber tersebut membantu pelaksanaan penelitian ini menjadi lebih baik.

2. Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer 250 mL (4 buah), tabung Reaksi (25 buah), cawan petri (25 buah), corong kaca (1 buah), *orbital shaker* (1 buah), *colony counter* (1 buah), OD *Spectrofotometer* (1 buah), jarum inokulasi (1 buah), instrumen Spektrofotometer UV-Vis (1 buah), Kuvet (2 buah), autoklaf (1 buah), pipet ukur 10 mL (1 buah), karet hisap (1 buah), botol semprot (1 buah), bunsen (1 buah), tisu (1 *pack*), label (1 *pack*), gelas beaker 250 mL (1 buah), neraca analitik (1 buah), gelas arloji (1 buah), Wrap (1 buah), Aluminium foil (1 buah), dan spatula (1 buah).

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah reagen $K_2Cr_2O_7$, NaCl, isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*, alkohol 70%, KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , NH_4Cl , $MgSO_4$, $CaCl_2$, D-Glucose, media *Nutrient Agar*, *Nutrient Broth*, dan aquades.

3. Cara Kerja

a. Persiapan Isolat dan aklimatisasi

Sediaan isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dari hasil penelitian Lathifah *et al.*, 2019 diinokulasikan ke dalam media *Nutrient Broth*. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C selama 48 jam di dalam inkubator. Kultur bakteri yang sudah tumbuh (ditandai dengan keruhnya media) selanjutnya dicek konsentrasi bakteri dengan OD *spectrofotometry*. Sel yang sudah siap adalah dengan jumlah 10^9 CFU/ml atau sama dengan 0,4 A (Dey, 2014). Selanjutnya koloni dikultur aklimatisasi dengan volume 5 ml pada media yang mengandung logam Cr (VI) sebesar 5 ppm (Frey *et al.*, 2010). Sel bakteri selanjutnya siap digunakan untuk pengujian.

b. Uji kemampuan *Arthrobacter chlorophenolicus* untuk bioremediasi limbah Chromium (VI)

Pengujian kemampuan *Arthrobacter chlorophenolicus* untuk bioremediasi logam Chromium (VI) dilakukan pada skala laboratorium yaitu dengan menganalisis kemampuan tumbuhnya pada media yang mengandung logam Chromium (VI) dengan berbagai konsentrasi (5, 10, 20 ppm) (Asatiani *et al.*, 2004). Dalam penelitian ini media tumbuh yang digunakan adalah media mineral spesifik. Adapun komposisi media tersebut dalam tiap g/l adalah Na_2HPO_4 , 1,264; KH_2PO_4 , 0,326; NH_4Cl , 1; MgSO_4 , 0,098; CaCl_2 , 0,044; Glucose, 0,1. Media tersebut kemudian ditambahkan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai sumber Cr (Bafana *et al.*, 2010). Lebih detailnya sebagai berikut :

(1) Persiapan media tumbuh

Disiapkan media mineral spesifik yang ditambahkan reagen $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sehingga didapatkan larutan media spesifik+ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dengan konsentrasi 5, 10, 20 ppm. Pembuatan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dilakukan dengan menyiapkan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 20 ppm, untuk mendapatkan 10 ppm dan 5 ppm dilakukan dengan cara pengenceran (Bafana *et al.*, 2010).

(2) Inokulasi isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media tumbuh

Disiapkan sebanyak 5 ml inokulasi bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* diinokulasikan pada media tumbuh + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ pada berbagai konsentrasi. Selanjutnya diinkubasi dengan shaker menggunakan *orbital shaker* pada suhu 30°C selama 192 jam atau 8 hari. Pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-120, dan jam ke-192 dilakukan pengambilan sampel larutan untuk dianalisis pertumbuhan bakteri menggunakan OD spektrofotometer, kemudian pada jam ke-0 dan jam ke-

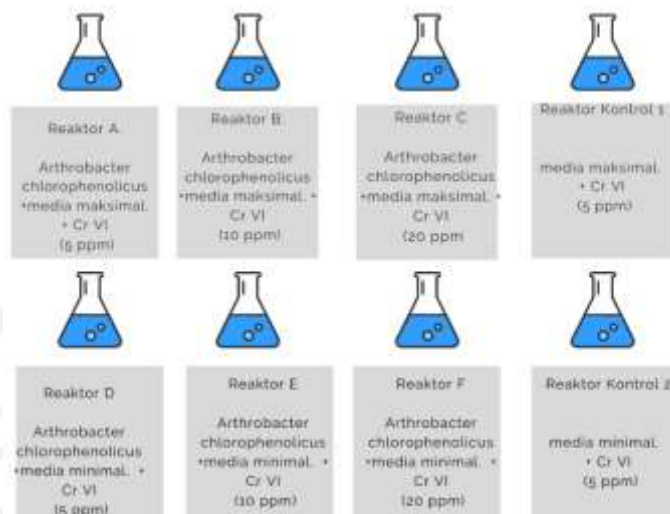
192 dilakukan pengukuran Total Plate Count (TPC), pH, dan suhu. Media yang mengandung Cr (VI) pada mulanya sudah diketahui konsentrasinya sehingga pengujian konsentrasi hanya diukur pada jam ke-192 atau hari terakhir pengujian (Rcheulishvili *et al.*, 2019). Sebagai kontrol digunakan media yang sama tanpa penambahan *Arthrobacter chlorophenolicus*.

(3) Analisis Pertumbuhan Bakteri pada Media spesifik + $K_2Cr_2O_7$

Kemampuan tumbuh bakteri pada media uji dianalisis dengan menggunakan metode *total plate count* (TPC) dan *Optical Density* (OD) spektrofotometer. Pertumbuhan bakteri yang dihitung dengan TPC menggunakan pengenceran 10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7} , media agar dengan media tumbuh+ $K_2Cr_2O_7$ diinkubasi dengan cawan terbalik pada suhu $37^\circ C$ selama 24 jam dengan perhitungan jumlah koloni sebagai kriteria pada rentang 30 – 300 koloni (Frey *et al.*, 2010). Sedangkan pada metode OD spektrofotometer sebanyak 3 mL media cair dari media tumbuh+ $K_2Cr_2O_7$ dimasukkan ke dalam kuvet kemudian diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm dan pada pengujian OD koloni dihitung pada jumlah sebanyak 10^9 CFU/ml atau sama dengan 0,4 A yang dihitung dengan OD spektrofotometer (Frey *et al.*, 2010).

(4) Analisis Reduksi Kandungan Logam Chromium

Analisis reduksi kandungan logam pada larutan sampel dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sampel uji pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-120, dan jam ke-192 dianalisis kandungan Cr-nya dengan panjang gelombang 535,9 nm (Rcheulishvili *et al.*, 2019).



Gambar 3.2. Perlakuan Konsentrasi Logam Cr Terhadap Media *Arthrobacter chlorophenolicus*

3.3. Prosedur Analisis Data

1. Analisis Perhitungan TPC dan OD

Pertumbuhan bakteri yang dihitung dengan TPC menggunakan pengenceran 10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7} yang diinokulasi di media agar dengan media *Nutrient Agar* dalam cawan petri, dan diinkubasi dengan cawan terbalik pada suhu 37°C selama 24 jam. Media dalam cawan petri yang memenuhi syarat perhitungan koloni yaitu jumlah koloni berada di antara 30-300 koloni dan tidak ada *spreader* koloni dihitung dengan *colony counter* (Mursalim, 2018).

2. Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Chromium

Efisiensi penyisihan kadar logam Chromium pada sampel uji didapat setelah pengujian melalui instrumen spektrofotometer UV-Vis pada sampel sebelum pembiakkan bakteri dan setelah dilakukan pengujian dengan biakkan bakteri. Berdasarkan pengujian dapat dihitung efisiensi penyisihan kadar logam berdasarkan konsentrasi logam Chromium yang dihasilkan dari analisis spektrofotometer. Hal ini diterapkan untuk mengetahui tingkat penyisihan yang dihasilkan dari suatu penelitian. Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung efisiensi penyisihan kadar logam (Setia *et al.*, 2002):

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

Keterangan :

C_0 = Konsentrasi logam berat awal (mg/L)

C = Konsentrasi logam berat akhir (mg/L)

3. Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri VS Reduksi Logam

Kurva pertumbuhan bakteri dan reduksi logam dilakukan dengan menggunakan peralatan pada skala laboratorium. Pertumbuhan bakteri dapat diketahui dengan penggunaan metode TPC dan OD *Spectrofotometer*. Pada pertumbuhan bakteri yang tepat akan terjadi peningkatan jumlah bakteri yang hidup didalam media pengujian. Selain itu, reduksi logam dapat dideteksi dengan penggunaan instrumen spektrofotometer dengan perbandingan konsentrasi pada waktu inkubasi yang ditentukan seiring dengan pertumbuhan jumlah bakteri (Rcheulishvili *et al.*, 2019).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Media Tumbuh Pertumbuhan Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus*

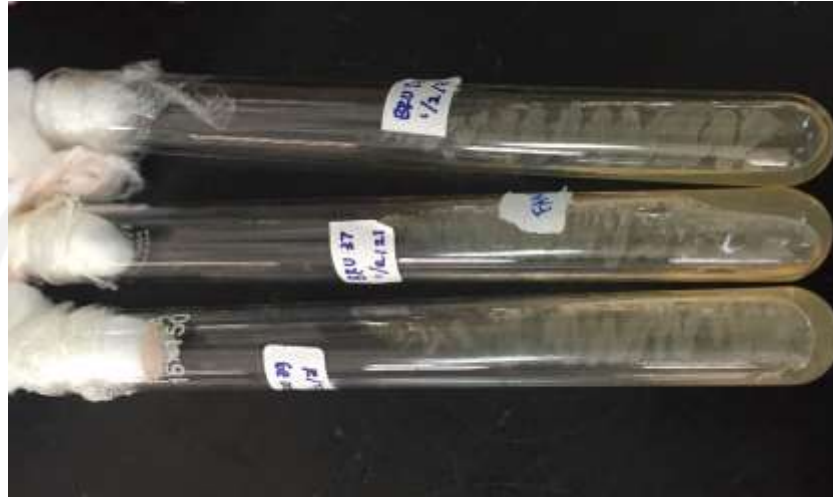
Isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam persiapan pertumbuhannya ditumbuhkan dalam media agar *Nutrient Agar* (NA). Target awal pertumbuhan isolat bakteri ini adalah untuk mendapatkan isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* sebagai *single colony* sehingga mudah digunakan dalam tahap analisis selanjutnya. Pada awalnya isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* tersedia dalam semi *liquid* yang kemudian dinokulasikan ke dalam petri berisi media padat NA. Berikut merupakan gambar hasil inokulasi *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam media padat NA:



Gambar 4.1. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* Dalam Media Agar NA

Pada **Gambar 4.1.** diatas terdapat bakteri jenis spesies *Arthrobacter chlorophenolicus* dengan inisial BRU 37. Berdasarkan gambar diatas bakteri tumbuh dengan pesat dan padat sehingga perlu dilakukan inokulasi ke media baru yang lain untuk mendapatkan bakteri dalam *single colony*. Stok isolat dalam petri tersebut selanjutnya dapat diinokulasikan ke dalam media agar miring dalam tabung reaksi yang memiliki ruang lebih sempit sehingga meminimalisir terkontaminasi oleh udara. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus*

digoreskan dengan membentuk zig zag secara merata. Berikut merupakan gambar hasil inokulasi isolat ke dalam media padat agar miring:



Gambar 4.2. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* Dalam Media Agar Miring

Berdasarkan pada **Gambar 4.1.** dan **Gambar 4.2.** isolat bakteri tumbuh dengan pesat dan belum *single colony* dilihat berdasarkan gambar tersebut koloni yang tumbuh dalam jumlah banyak dan merapat sehingga tidak bisa dihitung jumlah koloninya. Oleh karena itu, tahap selanjutnya adalah dilakukan pengenceran menggunakan aquades 5 ml dan inokulasi dilakukan dengan digoreskan sampai kuadran 4 untuk mendapatkan *single colony*. Berikut merupakan gambar isolat *single colony* pada media padat NA:



Gambar 4.3. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* BRU 37 Single Colony

Berdasarkan **Gambar 4.3.** diatas, isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* diinokulasikan kembali ke media padat NA secara kuadran IV. Kuadran IV merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan isolat dalam *single colony* dengan menggoreskan isolat memutar 360° dan pada kuadran IV digoreskan secara zig-zag sehingga terbentuk *single colony* dan dapat dihitung jumlah koloni yang tumbuh menggunakan *colony counter* kemudian dapat digunakan pada analisis selanjutnya yaitu pada tahap pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam media cair pada proses *running*.

4.2. Inkubasi Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* pada Media Nutrient Broth (NB)

Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* dari media padat *single colony* dilakukan inokulasi pada media tumbuh NB sebanyak 5 ml dan diinkubasi dalam 2x24 jam. Inkubasi isolat diperlukan untuk mendapatkan jumlah koloni yang diinginkan sesuai dengan penelitian yaitu sebesar 0,4 A yang dapat dipastikan dapat tumbuh pada media cair yang digunakan untuk pertumbuhan. Setelah 2x24 jam jumlah koloni isolat dicek nilai OD-nya untuk mengetahui jumlah pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* menggunakan OD

spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm dengan absorbansi rata-rata sebesar 0,4 A atau 10^9 CFU/ml (Frey *et al*, 2010). Berikut ini merupakan data hasil uji OD pada kultur:

Tabel 4.1. Hasil OD Kultur Pada Media NB+*Arthrobacter chlorophenolicus* Setelah Inkubasi 2x24 Jam

No	Sampel Uji	OD (Absorbansi)
1	Kultur 1	0,425
2	Kultur 2	0,465
3	Kultur 3	0,425

Berdasarkan data **Tabel 4.1.** diatas, terdapat nilai absorbansi yang memenuhi kultur 1, 2, dan 3. Berdasarkan nilai absorbansi tersebut telah memenuhi, maka dapat diinokulasikan ke media cair dengan minimal nutrisi dari media spesifik dan dibandingkan dengan media cair maksimal nutrisi NB. Media minimal nutrisi yang digunakan adalah Na_2HPO_4 , 1,264; KH_2PO_4 , 0,326; NH_4Cl , 1; MgSO_4 , 0,098; CaCl_2 , 0,044; Glucose, 0,1. Media tersebut kemudian ditambahkan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai sumber Cr VI (Bafana *et al*, 2010). Media tersebut disebut media minimal nutrisi karena mengandung jumlah nutrisi yang sedikit bagi pertumbuhan suatu bakteri. Namun, adanya kemampuan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* sebagai bakteri pionir yang mampu tumbuh dalam media minimal nutrisi menjadi potensi baik bagi pertumbuhan bakteri tersebut dalam mendegradasi polutan limbah Chromium (Lathifah, 2010). Selain itu, adanya media maksimal nutrisi NB dalam penelitian ini adalah sebagai pembanding media minimal nutrisi untuk mendapatkan perbedaan pertumbuhan bakteri tersebut dan kemampuannya dalam medegradasi Cr (VI).

4.3. Analisis Pertumbuhan Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* pada Media Maksimal Nutrisi (NB+ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) Selama 192 Jam Inkubasi

Kultivasi mikroba dapat dilakukan dengan berbagai media pertumbuhan. Berdasarkan jenisnya seperti media pertumbuhan universal atau umum hingga

media selektif diferensial. Pertumbuhan isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* dilakukan dengan media maksimal nutrisi dalam media cair NB yang termasuk dalam jenis media universal. Media NB diformulasikan dengan sumber karbon dan nitrogen supaya mampu memenuhi kebutuhan nutrisi bakteri. Media NB terdiri dari beef extract sebagai sumber karbon dan pepton sebagai sumber nitrogen (Pierce, 2005). Media NB tersebut memiliki banyak nutrisi sehingga mempermudah bakteri untuk tumbuh secara maksimal. Selain itu, bakteri ini juga dapat mereduksi Cr (VI) lebih mudah dengan adanya sumber nutrisi yang maksimal. Pada pengujian ini isolat dengan absorbansi rata-rata 0,4 A diinokulasikan sebanyak 5% dari 100 ml NB ke dalam media tumbuh NB+K₂Cr₂O₇ steril. Media tumbuh pada tahap ini menggunakan media cair NB 100 ml dan larutan K₂Cr₂O₇ sebagai sumber Cr (VI) dengan masing-masing konsentrasi Cr (VI) sebesar 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm. Pada pembuatan media tumbuh NB+K₂Cr₂O₇ dilakukan untuk dapat mengidentifikasi pertumbuhan isolat bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus* pada konsentrasi Cr (VI) yang berbeda-beda. Dalam pengukuran pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* ditentukan dengan 2 cara yaitu menggunakan *Total Plate Count* (TPC) dengan *pour plate* (cfu/ml) dan nilai *Optical Density* (OD) dalam satuan absorbansi menggunakan spektrofotometer.

Nilai OD dalam satuan absorbansi terhitung lebih dari 0,4 A yang berarti telah memenuhi syarat dalam inkubasi pada media maksimal nutrisi (NB+K₂Cr₂O₇). Inkubasi *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media NB+K₂Cr₂O₇ dilakukan dengan metode *batch* reaktor yang merupakan sebuah proses dengan menambahkan semua reaktan pada awal proses dan tidak ada penambahan reaktan pada saat proses berlangsung (Fogler, 1986). Reaktan yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah penambahan isolat dan media tumbuh. Proses *batch* pada pengujian ini dilakukan dalam waktu 8 hari didalam shaker dilakukan untuk mendapatkan hasil pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* yang signifikan dalam mereduksi Cr VI dari hari ke-0 sampai hari ke-8 hingga Cr VI tereduksi dengan maksimal. Pertumbuhan *Arthrobacter*

chlorophenicus dapat diketahui dengan cara mengukur nilai OD dengan spektrofotometer panjang gelombang 600 nm pada hari ke-0, hari ke-1, hari ke-5, hingga hari ke-8. Berikut merupakan hasil OD isolat *Arthrobacter chlorophenicus* pada media tumbuh 0 jam, 24 jam, 120 jam, dan 192 jam:

Tabel 2.2. Hasil OD *Arthrobacter chlorophenicus* Pada Media Maksimal Nutrisi Selama 8 Hari (192 Jam)

No	Nama Reaktor	Konsentrasi Cr (ppm)	OD (Absorbansi)			
			0 Jam	24 Jam	120 Jam	192 Jam
1	Reaktor A	5	0,398	0,416	0,495	0,678
2	Reaktor B	10	0,743	0,799	1,275	1,561
3	Reaktor C	20	0,714	0,784	1,307	1,451
4	Reaktor Kontrol	5	0,002	0,002	0,002	0,002

Keterangan:

Reaktor A = *Arthrobacter chlorophenicus* + Media NB berisi Cr (VI) 5 ppm

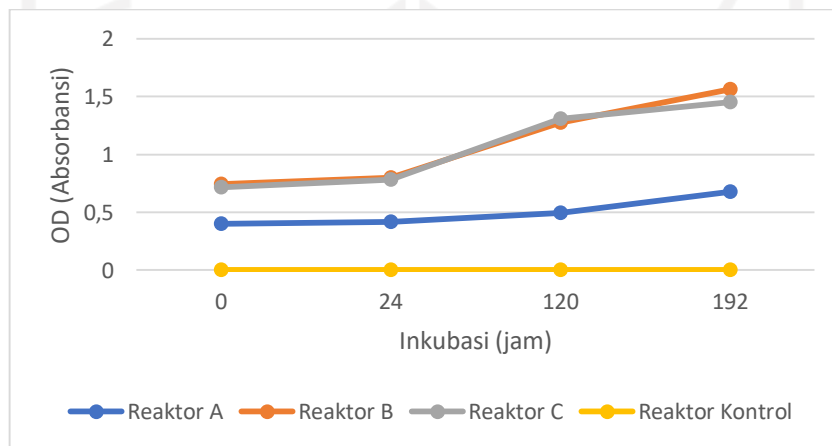
Reaktor B = *Arthrobacter chlorophenicus* + Media NB berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor C = *Arthrobacter chlorophenicus* + Media NB berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol = Berisi media NB + Cr (VI) 5 ppm

Berdasarkan **Tabel 4.2.** diatas, inkubasi dengan metode *batch* menghasilkan nilai OD dengan absorbansi yang meningkat setiap harinya. Nilai OD yang dihasilkan pada masing-masing yang diuji selama 192 jam mengalami peningkatan kecuali pada reaktor kontrol yang berarti terjadi pertumbuhan bakteri *Arthrobacter chlorophenicus*. Laju pertumbuhan bakteri bergantung pada kondisi lingkungan, apabila kondisi lingkungannya memiliki sedikit nutrisi maka pertumbuhannya secara umum akan lebih lambat dibanding dengan pertumbuhan bakteri pada medium yang kaya nutrisi (Llorens *et al*, 2010). Tabel tersebut menunjukkan bahwa inkubasi selama 24 jam pertumbuhan bakteri tidak terlalu tinggi pertumbuhannya ataupun cenderung mengalami peningkatan yang sedikit. Hal ini terjadi karena bakteri mengalami proses adaptasi pada media yang baru untuk dapat tumbuh dan berkembang. Namun, pada 120 jam kemudian seluruh sampel mulai menunjukkan pertumbuhan dalam jumlah yang signifikan yang berarti bakteri dapat

beradaptasi dengan media yang baru (fase eksponensial) sehingga dapat berkembang dan tumbuh dengan baik dengan penambahan nilai OD yang signifikan. Pada 192 jam bakteri tumbuh jauh lebih tinggi dibanding sebelumnya dengan peningkatan hingga 0,2 A OD pada setiap reaktornya. Sedangkan pada reaktor kontrol tidak mengalami perubahan pada nilai OD. Hal ini terjadi karena pada media kontrol tanpa dilakukan penambahan *Arthrobacter chlorophenolicus* dan media ini digunakan sebagai pembanding media yang ditumbuhkan bakteri tersebut. Berikut merupakan grafik pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam 192 jam:



Gambar 4.4. Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media Maksimal Nutrisi+Cr (VI) Dalam 192 Jam. Reaktor A = media NB berisi Cr (VI) dengan konsentrasi 5 ppm, reaktor B = berisi 10 ppm, reaktor C berisi 20 ppm, dan reaktor kontrol berisi 5 ppm tanpa *Arthrobacter chlorophenolicus*.

Berdasarkan **Gambar 4.4.** pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* tersebut dapat diketahui bahwa bakteri dapat tumbuh dalam media tumbuh NB dengan penambahan Cr (VI) yang terdapat pada masing-masing reaktor yaitu pada reaktor A media NB berisi Cr (VI) dengan konsentrasi 5 ppm, reaktor B berisi 10 ppm, reaktor C berisi 20 ppm, dan reaktor kontrol berisi 5 ppm tanpa *Arthrobacter chlorophenolicus*. Pertumbuhan bakteri terus meningkat secara perlahan.

Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* selain dihitung dalam OD, dapat diukur jumlah koloninya menggunakan metode *pour plate* pada media

padat *Plate Count Agar* (PCA) sebagai perbandingan nilai OD. Berikut merupakan tabel jumlah koloni:

Tabel 4.3. Jumlah Koloni Pada Media Maksimal Nutrisi

No	Nama Reaktor	Jumlah Koloni (cfu/ml)	
		0 Jam	192 Jam
1	Reaktor A	$2,3 \times 10^6$	$5,8 \times 10^6$
2	Reaktor B	$2,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^6$
3	Reaktor C	$1,1 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$
4	Reaktor Kontrol	0	0

Keterangan:

Reaktor A = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor B = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor C = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol = Berisi media NB + Cr (VI) 5 ppm

Berdasarkan **Tabel 4.3.** diatas, jumlah koloni pada masing-masing sampel berbeda, namun inkubasi dari jam ke-0 hingga inkubasi jam ke-192 mengalami peningkatan yang cukup baik. Adanya pengaruh konsentrasi Cr VI yang berbeda pada masing-masing sampel mempengaruhi jumlah koloni yang dapat bertahan pada media tersebut untuk terus tumbuh. Tabel tersebut menunjukkan bahwa inkubasi selama 24 jam pertumbuhan bakteri tidak terlalu tinggi pertumbuhannya ataupun cenderung mengalami peningkatan yang sedikit. Hal ini terjadi karena bakteri mengalami proses adaptasi (fase lag) pada media yang baru untuk dapat tumbuh dan berkembang. Namun, pada 120 jam kemudian seluruh sampel mulai menunjukkan pertumbuhan dalam jumlah yang signifikan yang berarti bakteri dapat beradaptasi dengan media yang baru sehingga dapat berkembang dan tumbuh dengan baik dengan penambahan nilai OD yang signifikan (fase eksponensial). Sedangkan pada reaktor kontrol menunjukkan konsistensinya dengan tanpa penambahan *Arthrobacter chlorophenolicus* tidak mengalami perubahan OD.

Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* menggunakan metode OD dapat dibandingkan jumlah koloninya menggunakan metode TPC. Sebagai

contoh yang telah diperoleh pada reaktor A nilai OD sebesar 0,678 A atau sama dengan $5,8 \times 10^6$ cfu/ml.

4.4. Analisis Pertumbuhan Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* pada Media Minimal Nutrisi + $K_2Cr_2O_7$

Media minimal nutrisi merupakan media yang digunakan untuk pertumbuhan Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* pada saat pengujian *running* dimana *Arthrobacter chlorophenolicus* dapat diketahui tumbuh pada media yang memiliki nutrisi minimal yang diketahui bahwa bakteri tersebut merupakan bakteri pionir yang dapat tumbuh dalam media minimal nutrisi. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* sebelum ditumbuhkan pada media minimal nutrisi mulanya ditumbuhkan dalam media cair NB dan diinkubasi selama 2x24 jam untuk mendapatkan nilai OD >0,4 A. Setelah 2x24 jam isolat NB+Isolat dapat di cek nilai OD-nya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600nm.

Media tumbuh dengan minimal nutrisi yang digunakan dalam tiap g/l adalah Na_2HPO_4 , 1,264; KH_2PO_4 , 0,326; NH_4Cl , 1; $MgSO_4$, 0,098; $CaCl_2$, 0,044; Glucose, 0,1. Media tersebut kemudian ditambahkan larutan $K_2Cr_2O_7$ sebagai sumber Cr VI (Bafana *et al*, 2010). Media tumbuh minimal nutrisi + $K_2Cr_2O_7$ yang telah diinokulasikan dengan isolat bakteri+NB sebanyak 5% dilakukan dengan metode *batch* reaktor yang merupakan sebuah proses dengan menambahkan semua reaktan pada awal proses dan tidak ada penambahan reaktan pada saat proses berlangsung (Fogler, 1986). Reaktan yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah penambahan isolat dan media tumbuh. Proses batch pada pengujian ini dilakukan dalam waktu 8 hari (192 jam) didalam shaker dilakukan untuk mendapatkan hasil pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* yang signifikan. Pengecekan OD dilakukan pada 0 jam, 24 jam, 120 jam, dan 192 jam. Berikut merupakan tabel hasil Rerata OD *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media minimal nutrisi+ $K_2Cr_2O_7$ selama 192 jam secara duplo:

Tabel 4.4. Hasil Rerata Nilai OD Pada Media Minimal Nutrisi Selama 192 Jam

No	Nama Reaktor	Konsentrasi Cr VI (ppm)	OD (Absorbansi)			
			0 Jam	24 Jam	120 Jam	192 Jam
1	Reaktor D	5	0,061	0,0835	0,144	0,336
2	Reaktor E	10	0,065	0,085	0,1275	0,3175
3	Reaktor F	20	0,0335	0,0805	0,1525	0,2605
4	Reaktor Kontrol	5	0,002	0,002	0,002	0,002

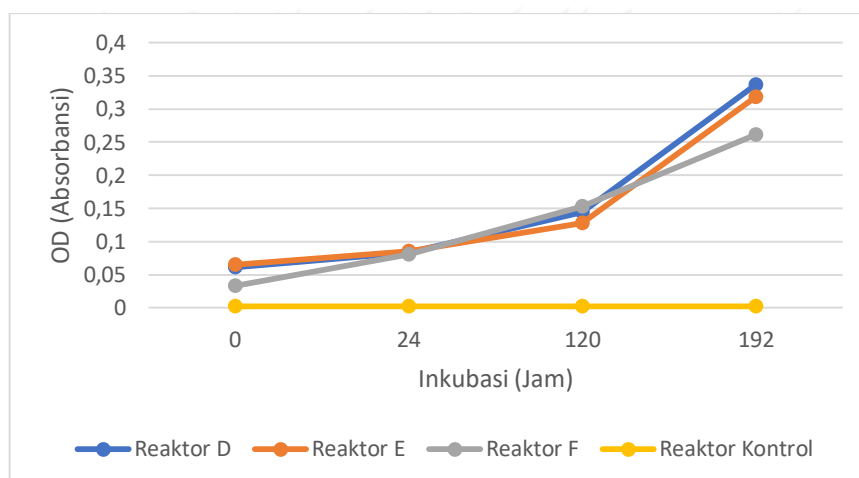
Keterangan :

Reaktor D = Rerata sampel 5 dan 9 yang berisi *Arthrobacter chlorophenolicus* + media minimal dengan penambahan Cr (VI) 5 ppm

Reaktor E = Rerata sampel 6 dan 10 yang berisi *Arthrobacter chlorophenolicus* + media minimal dengan penambahan Cr (VI) 5 ppm

Reaktor F = Rerata sampel 7 dan 11 yang berisi *Arthrobacter chlorophenolicus* + media minimal dengan penambahan Cr (VI) 5 ppm

Kontrol = Rerata sampel 8 dan 12 yang berisi media minimal dengan penambahan Cr (VI) 5 ppm



Gambar 4.5. Grafik Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* Selama Inkubasi 192 Jam. Reaktor A = media minimal berisi Cr (VI) dengan konsentrasi 5 ppm, reaktor B = berisi 10 ppm, reaktor C berisi 20 ppm, dan reaktor kontrol berisi 5 ppm tanpa *Arthrobacter chlorophenolicus*.

Nilai OD yang dihasilkan pada semua sampel yang diuji selama 192 jam mengalami peningkatan yang berarti terjadi pertumbuhan bakteri *Arthrobacter chlorophenolicus*. Laju pertumbuhan bakteri bergantung pada kondisi lingkungan, apabila kondisi lingkungannya memiliki sedikit nutrisi maka pertumbuhannya secara umum akan lebih lambat dibanding dengan pertumbuhan bakteri pada medium yang kaya nutrisi (Llorens *et al*, 2010). Tabel tersebut menunjukkan bahwa inkubasi selama 24 jam pertumbuhan bakteri tidak terlalu tinggi pertumbuhannya ataupun cenderung mengalami peningkatan yang sedikit. Hal ini terjadi karena bakteri mengalami proses adaptasi pada media yang baru untuk dapat tumbuh dan berkembang. Namun, pada 120 jam kemudian seluruh sampel mulai menunjukkan pertumbuhan dalam jumlah yang signifikan yang berarti bakteri dapat beradaptasi dengan media yang baru sehingga dapat berkembang dan tumbuh dengan baik dengan penambahan nilai OD yang signifikan. Sedangkan pada reaktor kontrol menunjukkan konsistensinya dengan tanpa penambahan *Arthrobacter chlorophenolicus* tidak mengalami perubahan OD. Pada 192 jam bakteri tumbuh jauh lebih tinggi dibanding sebelumnya dengan peningkatan hingga 0,2 A OD pada setiap reaktornya.

Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* selain dihitung dengan OD, dapat dihitung pula menggunakan metode *pour plate* menggunakan media padat PCA sebagai pembanding nilai OD seperti yang dilakukan pada media maksimal nutrisi. Berikut merupakan tabel jumlah koloni:

Tabel 4.5. Jumlah Koloni selama 192 Jam Inkubasi Pada Media Minimal Nutrisi

No	Nama Reaktor	Jumlah Koloni (cfu/ml)	
		0 Jam	192 Jam
1	Reaktor D	$1,0 \times 10^6$	$4,7 \times 10^6$
2	Reaktor E	$1,4 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$

3	Reaktor F	$1,4 \times 10^6$	$2,7 \times 10^6$
4	Reaktor Kontrol	0	0

Berdasarkan **Tabel 4.5.** diatas, jumlah koloni pada masing-masing sampel berbeda hasilnya, namun inkubasi dari jam ke-0 hingga 192 jam mengalami peningkatan jumlah koloni yang cukup signifikan. Adanya pengaruh Cr VI yang berbeda pada masing-masing konsentrasi Cr VI maka mempengaruhi jumlah koloni yang dapat tumbuh dan mereduksi Cr VI.

Pengujian *Arthrobacter chlorophenolicus* menggunakan media minimal nutrisi dapat dibandingkan hasilnya dengan pengujian menggunakan media maksimal nutrisi. Berdasarkan data yang dihasilkan, *Arthrobacter chlorophenolicus* yang ditumbuhkan menggunakan media minimal nutrisi dapat tumbuh yang dilihat berdasarkan nilai OD dan jumlah koloni pada metode TPC meskipun pertumbuhannya tidak sebesar menggunakan media maksimal nutrisi. Berdasarkan data yang diperoleh pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media minimal nutrisi Cr VI 5 ppm selama 192 jam menghasilkan OD sebesar 0,347 A sedangkan ditumbuhkan pada media maksimal nutrisi sebesar 0,678 A. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan bakteri bergantung pada kondisi lingkungan, apabila kondisi lingkungannya memiliki sedikit nutrisi maka pertumbuhannya secara umum akan lebih lambat dibanding dengan pertumbuhan bakteri pada medium yang kaya nutrisi (Llorens *et al*, 2010). Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan data tersebut adalah *Arthrobacter chlorophenolicus* merupakan bakteri pionir yang dapat tumbuh dalam media dengan minimal kandungan nutrisi dalam mendegradasi kandungan logam berat Cr (VI).

4.5. Analisis Penyisihan Kadar Cr (VI)

Limbah buatan Cr (VI) pada konsentrasi masing-masing 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm direduksi menggunakan isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* yang diinkubasi selama 192 jam menghasilkan reduksi yang baik. Hal ini dilihat berdasarkan nilai kadar Cr (VI) setelah melalui penyisihan pada jam ke-192 yang diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berikut ini merupakan

tabel konsentrasi penyisihan Kadar Cr (VI) pada media minimal nutrisi dan media maksimal nutrisi selama inkubasi 192 jam:

Tabel 4.6. Konsentrasi Penyisihan Kadar Cr VI Setelah Inkubasi Selama 192 Jam

No	Nama Reaktor	Konsentrasi Awal Cr VI (ppm)	Konsentrasi Awal Cr VI Setelah Pengenceran (ppm)	Absorbansi	Konsentrasi Akhir Cr VI Setelah Pengenceran (ppm)	Konsentrasi Akhir Cr VI (ppm)	Persen Removal (%)
1	Reaktor A	5	0,05	0,036	0,018	1,8	64
2	Reaktor B	10	0,1	0,04	0,020	2,0	80
3	Reaktor C	20	0,2	0,068	0,035	3,5	83
4	Reaktor Kontrol 1	5	0,05	0,097	0,050	5	0
5	Reaktor D	5	0,05	0,04	0,020	2,0	60
6	Reaktor E	10	0,1	0,051	0,026	2,6	74
7	Reaktor F	20	0,2	0,081	0,042	4,2	79
8	Reaktor Kontrol 2	5	0,05	0,097	0,050	5	0

Keterangan :

Reaktor A = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor B = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor C = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 20 ppm

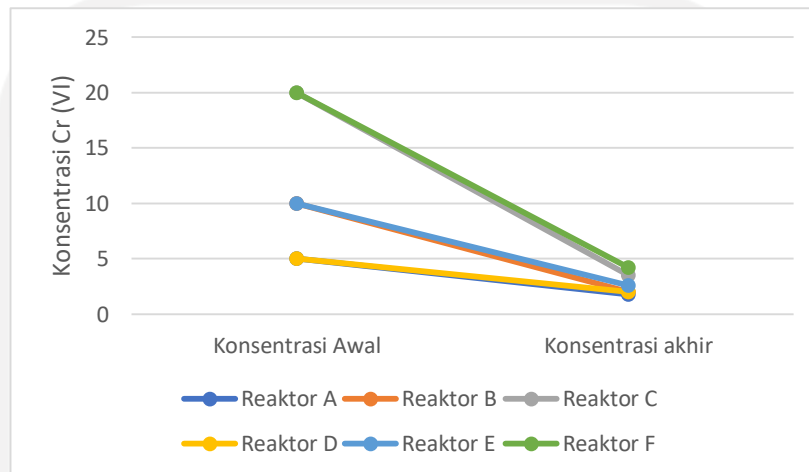
Reaktor Kontrol 1 = Berisi media NB + Cr (VI) 5 ppm

Reaktor D = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor E = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor F = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol 2 = Berisi media minimal + Cr (VI) 5 ppm



Gambar 4.6. Grafik Reduksi Cr VI 5 ppm Selama 192 Jam Inkubasi.

Reaktor A = media NB berisi Cr (VI) 5 ppm, reaktor B = media NB berisi Cr (VI) 10 ppm, reaktor C = media NB berisi 20 ppm, Reaktor D = media minimal berisi Cr (VI) 5 ppm, reaktor E = media minimal berisi Cr (VI) 10 ppm, reaktor F = media minimal berisi 20 ppm.

Berdasarkan **Tabel 4.6.** diatas didapatkan hasil konsentrasi Cr (VI) yang menunjukkan kadar reduksinya baik dari media minimal nutrisi maupun dari media maksimal nutrisi. Pada media maksimal nutrisi memiliki hasil reduksi yang jauh lebih cepat dibandingkan pada media minimal nutrisi. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan bakteri bergantung pada kondisi lingkungan, apabila kondisi lingkungannya memiliki sedikit nutrisi maka pertumbuhannya secara umum akan lebih lambat dibanding dengan pertumbuhan bakteri pada medium yang kaya nutrisi (Llorens *et al*, 2010). Pada media minimal nutrisi cukup baik dalam mereduksi Cr (VI) namun hasil menunjukkan tidak sepesat reduksi pada media maksimal nutrisi. Namun berdasarkan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa media tersebut dengan ditumbuhkan *Arthrobacter chlorophenolicus*

berhasil mereduksi Cr VI dengan baik. Reduksi Cr (VI) yang tinggi dengan penambahan bakteri terjadi karena bakteri tersebut dapat bertahan dengan struktur plasmid dan adanya bantuan enzim dari bakteri tersebut yang mampu mereduksi Cr (VI) secara optimum pada pH 6 (Ramadani, 2009). Hal ini mengindikasikan adanya proses enzimatik yang membantu proses reduksi Cr (VI) dalam sel bakteri dengan cara menyerap Cr (VI) dari media dalam reaktor ke dalam sel secara aktif dengan tujuan memperoleh energi.

Selain adanya proses reduksi Cr (VI) oleh pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus*, reduksi juga terjadi karena adanya produk samping yang dihasilkan bakteri berupa H₂S. Adanya kenaikan jumlah bakteri yang tumbuh akan menambah jumlah produksi H₂S yang akan mempercepat reduksi Cr (VI). H₂S yang dihasilkan bakteri akan bereaksi dengan Cr (VI) membentuk Chromium Sulfida yang bersifat tidak stabil dalam larutan dan akan lebih cepat terdeposit untuk membentuk Cr(OH)₃ yaitu Cr dengan valensi tiga yang memiliki toksisitas lebih rendah dari Cr (VI) (Rahman *et al*, 2007). Sedangkan menurut Suhendrayatna (2001), adanya reduksi Cr (VI) menjadi Cr (III) disebut bioremoval.

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

Reduksi Cr (VI) oleh *Arthrobacter chlorophenolicus* sangat dipengaruhi oleh pH dan suhu yang optimal untuk mereduksi secara maksimal. Adanya parameter tersebut mempengaruhi pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* untuk dapat bertahan mereduksi Cr VI. Selain itu, parameter pH dan suhu juga mengindikasikan kandungan limbah Cr VI dalam kondisi tercemar dan/atau aman ketika telah diinkubasi selama 192 jam. Parameter pH dan suhu untuk limbah jenis Cr VI diukur berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 tentang baku mutu air limbah. Berikut merupakan tabel uji parameter pH awal dan akhir pada sampel uji:

Tabel 4.7. Hasil Uji Parameter pH dan Suhu Media Minimal dan Maksimal Nutrisi

No	Nama Reaktor	Awal		Akhir	
		pH Awal	Suhu Awal	pH Akhir	Suhu Akhir
1	Reaktor A	6	26	7	27
2	Reaktor B	6	26	7	27
3	Reaktor C	5	26	6	27
4	Reaktor Kontrol 1	6	26	6	27
5	Reaktor D	6	26	7	27
6	Reaktor E	5	26	7	27
7	Reaktor F	5	26	6	27
8	Reaktor Kontrol 2	6	26	6	27

Keterangan :

Reaktor A = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor B = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor C = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol 1 = Berisi media NB + Cr (VI) 5 ppm

Reaktor D = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor E = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 10 ppm

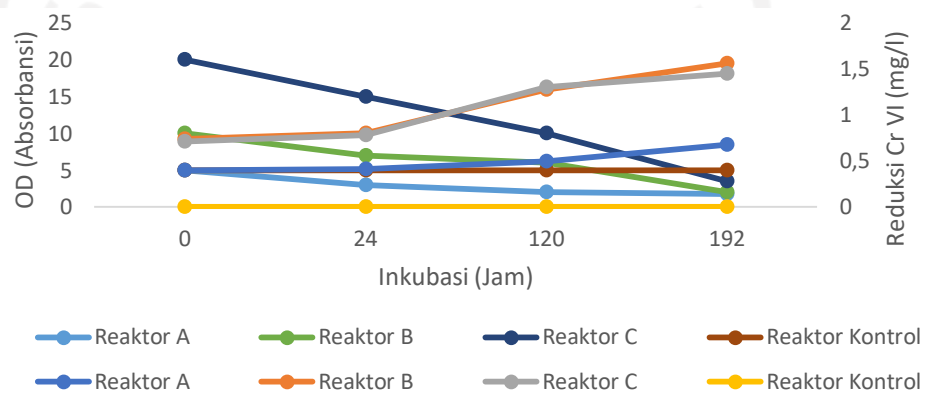
Reaktor F = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol 2 = Berisi media minimal + Cr (VI) 5 ppm

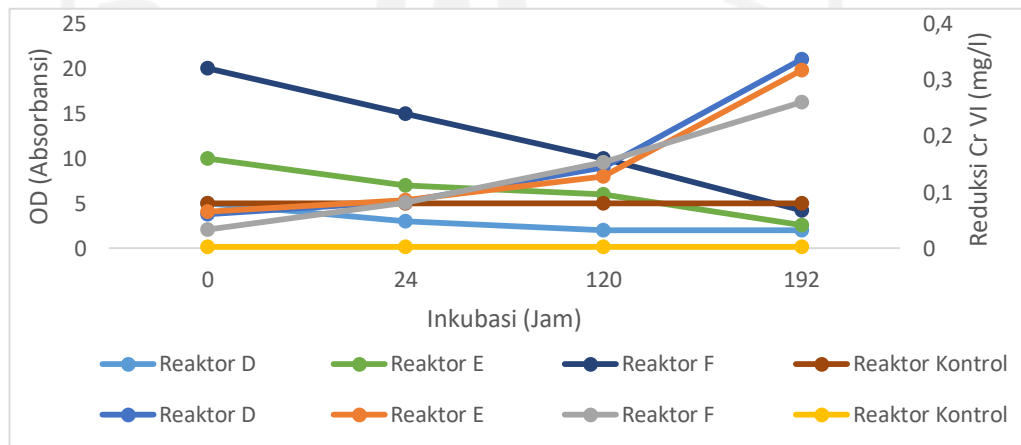
Berdasarkan **Tabel 4.7.** diatas, Reduksi Chromium VI oleh *Arthrobacter chlorophenolicus* cukup baik ketika pH awal media dipertahankan pada pH 4 hingga 8 (Dey, 2012). Reduksi maksimum pada 192 jam terjadi pada pH 7. Hal ini terjadi ketika Cr VI berhasil di reduksi oleh *Arthrobacter chlorophenolicus* yang semula mengandung pH sebesar 5 - 6 pada konsentrasi 5 – 20 ppm Cr VI direduksi dalam 192 jam menghasilkan pH 7. Selain itu, parameter suhu berperan penting dalam pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* yaitu akan tumbuh dengan optimal pada suhu 20-40°C. Pada pengujian ini media tumbuh pada suhu 26-27°C.

4.7. Analisis Kurva Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* VS Reduksi Cr VI

Adanya pengaruh *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi Cr VI, maka dapat disimpulkan perbandingan antara pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dengan perkembangan konsentrasi Cr VI yang direduksi. Berikut merupakan tabel pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dengan reduksi Cr VI:



Gambar 4.7. Grafik Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media Maksimal Nutrisi VS. Reduksi Cr VI Selama 192 Jam Inkubasi



Gambar 4.8. Grafik Pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media Minimal Nutrisi VS. Reduksi Cr VI Selama 192 Jam Inkubasi

Keterangan :

Reaktor A = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor B = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor C = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media NB berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol 1 = Berisi media NB + Cr (VI) 5 ppm

Reaktor D = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 5 ppm

Reaktor E = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 10 ppm

Reaktor F = *Arthrobacter chlorophenolicus* + Media minimal berisi Cr (VI) 20 ppm

Reaktor Kontrol 2 = Berisi media minimal + Cr (VI) 5 ppm

Berdasarkan **Gambar 4.7.** dan **Gambar 4.8.** diatas, Pengujian *Arthrobacter chlorophenolicus* menggunakan media minimal nutrisi dapat dibandingkan hasilnya dengan pengujian menggunakan media maksimal nutrisi. Berdasarkan data yang dihasilkan, *Arthrobacter chlorophenolicus* yang ditumbuhkan menggunakan media minimal nutrisi dapat tumbuh yang dilihat berdasarkan jumlah koloni yang dihitung dengan nilai OD dan jumlah koloni pada metode TPC meskipun pertumbuhannya tidak sebesar menggunakan media maksimal nutrisi. Berdasarkan data yang diperoleh pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* pada media minimal nutrisi Cr VI 5 ppm selama 192 jam menghasilkan OD sebesar 0,347 A sedangkan ditumbuhkan pada media maksimal nutrisi sebesar 0,678 A. Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan data tersebut adalah *Arthrobacter chlorophenolicus* merupakan bakteri pionir yang dapat tumbuh dalam media dengan minimal kandungan nutrisi dalam mendegradasi kandungan logam berat Cr VI.

Seiring dengan pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* pada 192 jam inkubasi semakin banyak jumlah koloni yang tumbuh dalam media minimal dan maksimal nutrisi, maka semakin besar peluang *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi Cr (VI). Sehingga, semakin banyak jumlah

koloni bakteri tersebut maka konsentrasi Cr (VI) akan semakin berkurang. Hal ini didapatkan berdasarkan hasil pengujian pada media maksimal nutrisi memiliki hasil reduksi yang jauh lebih cepat dibandingkan pada media minimal nutrisi. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan bakteri bergantung pada kondisi lingkungan, apabila kondisi lingkungannya memiliki sedikit nutrisi maka pertumbuhannya secara umum akan lebih lambat dibanding dengan pertumbuhan bakteri pada medium yang kaya nutrisi (Llorens *et al*, 2010). Pada media minimal nutrisi cukup baik dalam mereduksi Cr (VI) namun hasil menunjukkan tidak sepesat reduksi pada media maksimal nutrisi. Namun berdasarkan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa media tersebut dengan ditumbuhkan *Arthrobacter chlorphenolicus* berhasil mereduksi Cr VI dengan baik.



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* mampu menyisihkan kadar Cr VI pada konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm pada media minimal nutrisi dengan masing-masing persen removal sebesar 64%, 80%, dan 83% dan pada media maksimal nutrisi dengan masing-masing persen removal sebesar 60%, 74%, dan 79%.
2. Waktu inkubasi selama 8 hari (192 jam) berhasil mereduksi limbah Cr (VI) dengan optimal. Adanya pengaruh durasi waktu inkubasi tersebut *Arthrobacter chlorophenolicus* mampu tumbuh pada media yang ditanam dan dapat mereduksi secara optimal.

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya dalam pengujian pertumbuhan *Arthrobacter chlorophenolicus* dalam mereduksi logam Cr (VI) lebih baik dilakukan dengan tahap aklimatisasi sebagai uji pendahuluan untuk mengetahui besarnya tingkat pertumbuhan bakteri dan penyisihan Cr VI. Selain itu, lebih baik pengujian dilakukan dengan teliti dan menggunakan alat yang steril untuk menghindari media pengujian terkontaminasi oleh bakteri yang tidak diinginkan dalam pengujian. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) wajib dilakukan untuk menghindari kontak langsung dengan bahan-bahan yang berbahaya seperti Cr (VI) yang memiliki toksisitas tinggi, serta bahan kimia lain yang bersifat korosif.



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Asatiani, Nino., Abuladze, Marina K., Kartvelishvili, Tamar M., Bakradze, Nugdzar G., Sapojnikova, Nelly A., Tsibakhshvili, Nelly Y., Tabatadze, Leila V., Lejava, Lia V., Asanishvili, Lali L., Holman, Hoi-Ying. 2004. Effect of Chromium (VI) Action on *Arthrobacter Oxydans*. *Journal of Current Microbiology*. Volume 49 pp. 321-326.
- Asatiani, Nino., Kartvelishvili, Tamar., Sapojnikova, Nelly. 2018. Effect of The Simultaneous Action of Zinc and Chromium on *Arthrobacter* sp. *Journal of Water, Air, and Soil Pollution*. Volume 12 p. 229.
- Asmadi., Endro S., Oktiawan, W. 2009. Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , dan NaHCO_3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Volume 5. p. 1.
- Bafana, Amit., Krishnamurthi, Kannan., Patil, Mahendra., Chakrabarti, Tapan. 2010. Heavy Metal Resistance in *Arthrobacter ramosus* Strain G2 Isolated From Mercuric Salt-Contaminated Soil. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 177 pp. 481-486.
- Darmono. 2008. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta : UI Press.
- Dey, Satarupa., Paul, A.K. 2012. Optimization of Cultural Conditions for Growth Associated Chromate Reduction by *Arthrobacter* sp. SUK 1201 Isolated from Chromite Mine Overbuden. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 213-214 pp. 200-206.
- Dey, Satarupa., Paul, A.K. 2018. Influence of Metal Ions on Biofilm Formation by *Arthrobacter* sp. SUK 1205 and Evaluation of Their Cr (VI) Removal Efficacy. *International Journal of Biodeterioration & Biodegradation*. Volume 132 pp. 122-131.
- Frey, Beat., Rieder, Stefan R., Brunner, Ivano., Plotze, Michael., Koetzsch, Stefan., Lapenje, Ales., Brandl, Helmut., Furrer, Gerhard. 2010. Weathering-Associated Bacteria From Then Damma Glacier Forefield : Phsycological

- Capabilities and Impact On Granite Dissolution. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*. Volume 76 pp. 4788-4796.
- Gelagutashvili, E., Ginturi, E., Pataraiia, D., Gurielidze, M. 2011. Biosorption of Cr (VI) and Cr (III) Arthrobacter Species. *Journal of Microbiology*.
- Hatano, T., Tsuruta, T. 2017. Removal and Recovery of Chromium (II) from Aqueous chromium (III) Using *Arthrobacter nicotianae* Cells. *Journal Advances in Microbiology*. Volume 7 pp. 487-497.
- Khusnuryani, A., Martani, E., Wibawa, T., Widada, J. 2015. Karakterisasi Bakteri Pendegradasi Fenol dan Pembentuk Biofilm dari Sumber Alami Artifisial. *Jurnal Mikrobiologi*. Volume 9 pp. 40-50.
- Lathifah, Annisa N., Guo, Yong., Sakagami, Nobuo., Suda, Wataru., Higuchi, Masanobu., Nishizawa, Tomoyasu., Prijambada, Irfan D., Ohta, Hiroyuki. 2019. Comparative Characterization of Bacterial Communities in Moss-Covered and Unvegetated Volcanic Deposits of Mount Merapi, Indonesia. *Journal of Microbes and Environment*. Volume 34. Pp. 268-277.
- Listiana, V. 2013. Analisis Kadar Logam Berat Kromium (C) dengan Ekstraksi Pelarut Asam Sulfat (H₂SO₄) Menggunakan AAS di Sungai Donan (Cilacap) pada Jarak 2 km sesudah PT. Pertamina. *Skripsi*. Semarang : UIN Walisongo
- Lizayana., Mudatsir., Iswadi. 2016. Densitas Bakteri Pada Limbah Cair Pasar Tradisional. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*. Volume 1 pp. 95-106.
- Llorens., E.M.G.J.M.N., A.T. 2010. Stationary Phase In Gram Negative Bacteria. *FEMS Microbial*. Pp. 476-495.
- Murniati, Tri., Inayati., Budiastuti S. 2015. Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrolisis sebagai Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. *Jurnal Ekosains*. Volume 7 p. 1.
- Mursalim. 2018. Pemeriksaan Angka Lempeng Total Bakteri Pada Minuman Sari Kedelai Yang Diperjualbelikan di Kecamatan Manggala Kota Makassar. *Jurnal Media Analisis Kesehatan*. Volume 1 p. 1.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2015 Tentang Jenis Dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku Pada Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Rahman, M.U., Gul, S., Ulhaq, M.Z. 2007. Reduction of Chromium (VI) by Locally Isolated *Pseudomonas* sp. C171. *Turkey Journal Biol.* Volume 161-166.
- Ramadani, M. 2009. Aktivitas Reduksi Logam Berat Kromium Heksavalen (VI) Oleh bakteri tahan Logam Berat Kromium. Skripsi FMIPA UNLAM, Banjarbaru.
- Rcheulishvili, O. Tsverava, L. Rcheulishvili, A., Gurielidze, M., Solomonias, R., Metreveli, N., Jojua, N., Holman, H.Y. 2018. Heavy Metal Specific Proteomic Responses of Highly Resistant *Arthrobacter globiformis* 151B. *Journal Annals of Agrarian Science.* Volume 17 pp. 218-229.
- Sankhla, M.S., Kumari, M., Nandan, M., Kumar, R., Arrawal, P. 2016. Heavy Metal Contamination in Water and Their hazardous Effect on Human Health – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* Volume 5 pp. 759-766.
- Saranraj, P., Sujitha, D. 2013. Microbial Bioremediation of Chromium in Tannery effluent. *International Journal of Microbial Research.* Volume 4 pp. 305-320.
- Schiavon, M. E. A. H., Pilon., Smits., Wirtz., Hell., Malagoli. 2008. Interactions Between Chromium and Sulfur Metabolism In *Brassica Juncea*. *Journal of Environmental Quality.* Volume 237. Pp. 1536-1545.
- Setia, Maria R. 2002. Pengolahan Limbah Logam Berat Laboratorium Dasar Proses Kimia. *Skripsi Teknik Kimia Jurusan Gas dan Petrokimia FT UI.*
- Suhendrayatna, 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. Seminar Bioteknologi. Tokyo: Sinergi Forum Institut of Technology.

Torowati., Asminar., Rahmiati. 2008. Analisis Unsur Pb, Ni, dan Cu Dalam Larutan Uranium Hasi Stripping Efluen Uranium Bidang Bahan Bakar Nuklir. BATAN.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

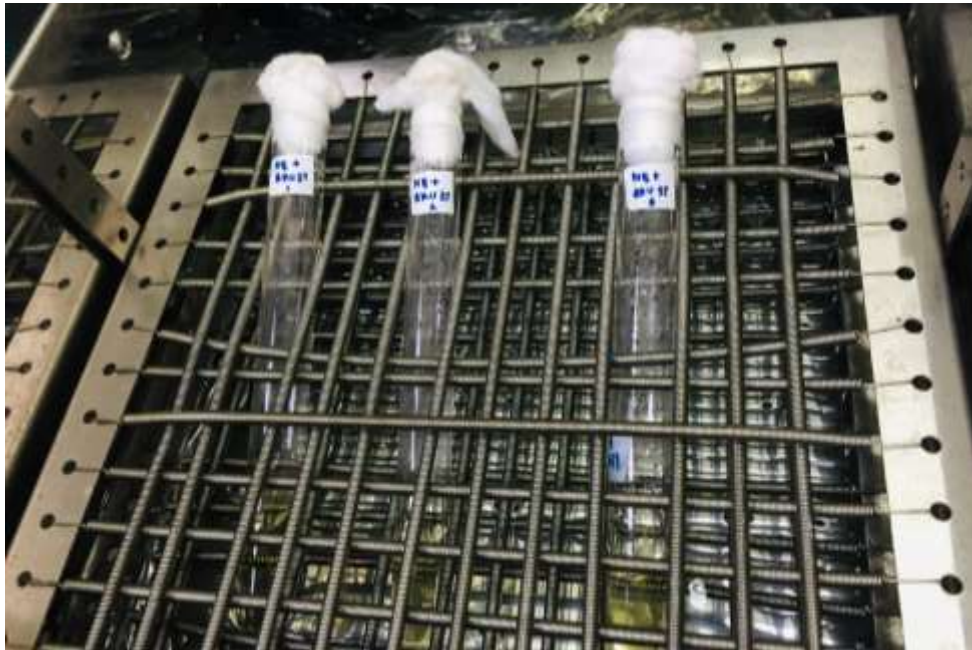
Lampiran 1. 1. Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media NA Petri



Lampiran 1. 2. Inokulasi Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media NB



Lampiran 1. 3. Inkubasi Isolat *Arthrobacter chlorophenolicus* Selama 2x24 jam



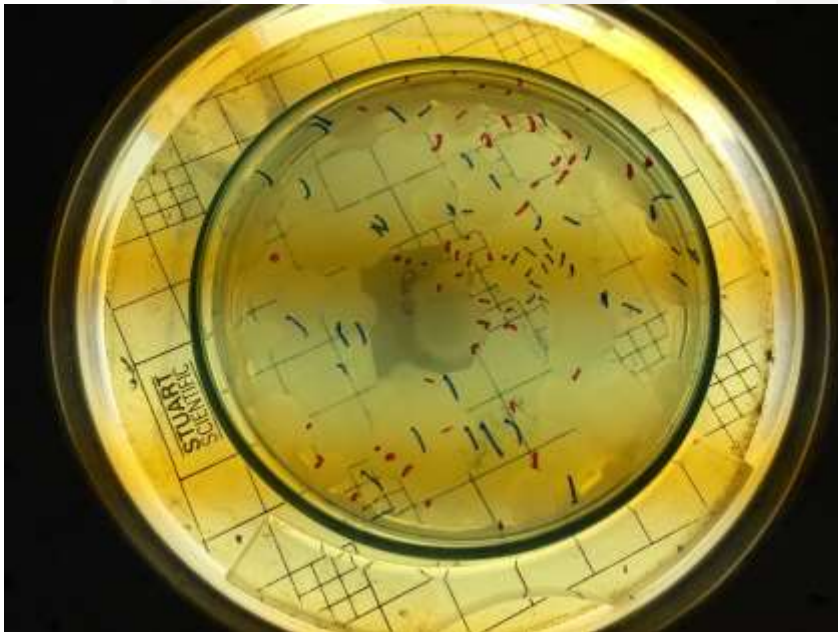
Lampiran 1. 4. Pengujian OD Menggunakan Spektrofotometer



Lampiran 1. 5. Inkubasi Isolat Pada Media Tumbuh Selama 8 Hari



Lampiran 1.6. Koloni *Arthrobacter chlorophenolicus* Pada Media PCA



Lampiran 1.7. Tabel Nilai OD pada Kultur + NB

No	Kultur	Absorbansi (A)	No	Kultur	Absorbansi (A)
1	Kultur 1	0,425	7	Kultur 7	0,427
2	Kultur 2	0,465	8	Kultur 8	0,477
3	Kultur 3	0,425	9	Kultur 9	0,415
4	Kultur 4	0,483	10	Kultur 10	0,414
5	Kultur 5	0,412	11	Kultur 11	0,492
6	Kultur 6	0,445	12	Kultur 12	0,488

Lampiran 1.8. Hasil Pengenceran Jumlah Koloni Pada Media Maksimal Nutrisi

No	Nama Reaktor	Pengenceran Jumlah Koloni					
		0 Jam			192 Jam		
		10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
1	Reaktor A	23	13	5	58	27	17
2	Reaktor B	24	18	8	49	28	20
3	Reaktor C	11	7	2	34	27	13
4	Reaktor Kontrol	0	0	0	0	0	0

Lampiran 1.9. Hasil OD *Arthrobacter chlorophenolicus* Setelah Inkubasi Pada Media Minimal Nutrisi+K₂Cr₂O₇ Selama 192 Jam

No	Nama Reaktor	Konsentrasi Cr VI (ppm)	OD (Absorbansi)			
			0 Jam	24 Jam	120 Jam	192 Jam
1	Reaktor D	5	0,091	0,129	0,147	0,347
2	Reaktor E	10	0,054	0,072	0,133	0,359
3	Reaktor F	20	0,033	0,087	0,120	0,213
4	Reaktor kontrol 1	5	0,001	0,001	0,001	0,001
5	Reaktor G	5	0,031	0,038	0,141	0,325
6	Reaktor H	10	0,076	0,098	0,122	0,276
7	Reaktor I	20	0,034	0,074	0,185	0,308
8	Reaktor Kontrol 2	5	0,003	0,003	0,003	0,003

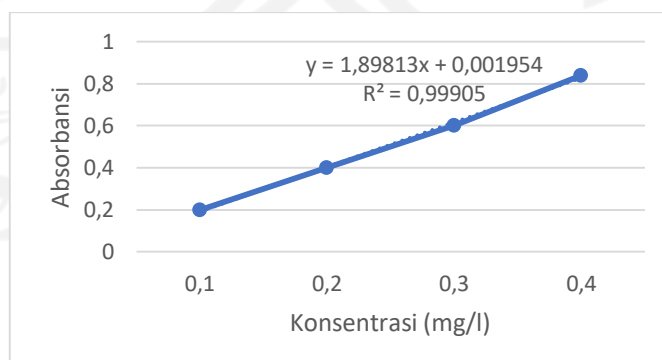
Lampiran 1.10. Hasil Jumlah Koloni Setelah Pengenceran Pada Media Minimal Nutrisi

No	Media minimal nutrisi+K ₂ Cr ₂ O ₇	Pengenceran Jumlah Koloni					
		0 Jam			192 Jam		
		10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
1	Reaktor D	10	8	5	47	21	13
2	Reaktor E	14	17	7	43	20	16
3	Reaktor F	14	13	5	27	26	9
4	Reaktor kontrol 1	0	0	0	0	0	0

Lampiran 1.11. Konsentrasi Sampel Uji Larutan Standar

No	Sampel Uji	Konsentrasi (C)	Absorbansi (A)
1	Sampel 1	0,1	0,2
2	Sampel 2	0,2	0,4
3	Sampel 3	0,3	0,6
4	Sampel 4	0,4	0,839

Lampiran 1.12. Grafik Konsentrasi Cr (VI) Sebagai Kurva Larutan Standar





RIWAYAT HIDUP

Saya F. Anisa Noor Alfisyahr lahir di Kebumen 11 Januari 1999. Saya merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Saya dilahirkan oleh orangtua yang sangat mengsupport saya, Ayah saya bernama Hanif Riyanto dan ibu saya Siti Mukhotifah. Riwayat pendidikan saya di SDIT Al-Furqan lulus tahun 2012, MTs N 1 Kebumen lulus tahun 2015, SMA N 1 Kebumen lulus tahun 2017, dan saat ini merupakan mahasiswa semester akhir di Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Selain kegiatan akademik, selama menjadi mahasiswa saya juga aktif dengan kegiatan non-akademik seperti berorganisasi di LDF Mustanir, UKM Al-Fath, menjadi Asisten Lab mata kuliah Kimia dasar, mata kuliah mikrobiologi lingkungan, mata kuliah Praktikum Teknik Lingkungan II, menjadi Asisten Dosen Mata Kuliah Kalkulus, mengikuti event nasional maupun internasional seperti *international conference* yang diselenggarakan di Bangka Belitung dan kompetisi Start-up Internasional yang diselenggarakan oleh *WorldSkills Be Change Maker* Shanghai, kegiatan sosial mengenai air bersih di Bangka, kegiatan keagamaan kampus menjadi pemandu pesantrenisasi dan mengajar taklim adik-adik tingkat, hingga merintis sebuah start-up AiKite.