

**UJI REDUKSI DAN IDENTIFIKASI ISOLAT BAKTERI RESISTEN
VANADIUM DARI PERTAMBANGAN MINYAK BUMI DESA
WONOCOLO KECAMATAN KEDEWAN KABUPATEN BOJONEGORO**

SKRIPSI

**Oleh:
RADHWA HAYYU AUFA HAQ
NIM. 16620067**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**UJI REDUKSI DAN IDENTIFIKASI ISOLAT BAKTERI RESISTEN
VANADIUM DARI PERTAMBANGAN MINYAK BUMI DESA
WONOCOLO KECAMATAN KEDEWAN KABUPATEN BOJONEGORO**

SKRIPSI

Oleh:

Radhwa Hayyu Afa Haq

NIM. 16620067

diajukan Kepada:

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

PROGRAM STUDI BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2021

**UJI REDUKSI DAN IDENTIFIKASI ISOLAT BAKTERI RESISTEN
VANADIUM DARI PERTAMBANGAN MINYAK BUMI DESA
WONOCOLO KECAMATAN KEDEWAN KABUPATEN BOJONEGORO**

SKRIPSI

Oleh:

Radhwa Hayyu Afa Haq

NIM. 16620067

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji

tanggal: 19 April 2021

Pembimbing I



Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 19900807 201903 1 011

Pembimbing II



Oky Bagas Prasetvo, M.Pd.I
NIP. 19890113 20180201 1 244

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

**UJI REDUKSI DAN IDENTIFIKASI ISOLAT BAKTERI RESISTEN
VANADIUM DARI PERTAMBANGAN MINYAK BUMI DESA
WONOCOLO KECAMATAN KEDEWAN KABUPATEN BOJONEGORO**

SKRIPSI

Oleh:

Radhwa Hayyu Afa Haq

NIM. 16620067

telah dipertahankan

di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal: 19 April 2021

Penguji Utama	Dr. Dwi Suheriyanto, M.P NIP. 19740325 200312 1 001	
Ketua Penguji	Nur Kusmiyati, M.Si NIP. 19890816 20160108 2 061	
Sekretaris Penguji	Bayu Agung Prahardika, M.Si 19900807 201903 1 011	
Anggota Penguji	Okny Bagas Prasetyo, M.Pd.I 19890113 20180201 1 244	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamiin, segala puji syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, taufik, nikmat, dan hidayah-Nya yang tak bisa terhitung sehingga saya dapat mengerjakan skripsi ini hingga selesai. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat pada jalan yang terang benderang.

Skripsi ini saya persembahkan terutama untuk kedua orang tua saya tercinta, Ibu Indah Puspita Riastrini dan Bapak Kukuh Prasetyo Utomo yang telah merawat saya dan selalu memberikan dukungan baik do'a, semangat, dan materi. Kepada adikku UB yang selalu memberikan do'a dan semangat. Tak lupa juga kepada nenek saya, Tri Wuryani, yang telah merawat, memberikan dukungan, serta do'a kepada saya. Terakhir, skripsi ini saya persembahkan kepada Alm. Bapak Romaidi, M.Si., D.Sc yang telah memberikan banyak ilmu, support, dan motivasi. Berkat beliaulah saya mampu mengambil topik skripsi Bioremediasi Logam Vanadium. Mereka semua adalah motivasi terbesar saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Radhwa Hayyu Afa Haq
NIM : 16620067
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Uji Reduksi dan Identifikasi Isolat Bakteri Resisten
Vanadium dari Pertambangan Minyak Bumi Desa
Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-banar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 April 2021

Yang membuat pernyataan,



Radhwa Hayyu Afa Haq
NIM. 16620067

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat yang melimpah sehingga penulis mampu menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, sekaligus menyelesaikan skripsi yang berjudul Uji Reduksi dan Identifikasi Isolat Bakteri Resisten Vanadium dari Pertambangan Minyak Bumi Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro. Shalawat serta salam selalu tucurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya dari zaman jahiliyah sampai menjadi terang benderang melalui penyebaran cahaya iman, islam, dan ilmu pengetahuan yang hakiki.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M. Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M. Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Dosen Wali penulis.
4. Bayu Agung Prahardika, M. Si dan Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan.
5. Dr. Dwi Suheriyanto, M.P dan Dr. Nur Kusmiyati, M.Si selaku penguji yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan kami demi terealisasinya skripsi ini.
6. Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc selaku Kepala Laboratorium Mikrobiologi dan Retno Novvitasari HD., M.Sc selaku Laboran Mikrobiologi yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.

7. Fitriyah, M.Si selaku Kepala Laboratorium Genetika Molekuler dan Mahrus Ismail, M.Si selaku Laboran Genetika Molekuler yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.
8. Segenap civitas akademika Program Studi Biologi, terutama seluruh dosen yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, serta wawasannya sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
9. Kedua orang tua Ummi dan Ayah yang telah mendidik, mendampingi, serta selalu memberikan do'a dan support kepada penulis dalam menuntut ilmu.
10. Teman-teman Biologi angkatan 2016, terutama teman-teman Biologi C 2016 dan teman-teman Lab.Mikrobiologi terimakasih atas segala bantuan dan supportnya.

Akhirnya, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, bagi para pembaca pada umumnya. Aamiin Ya Rabbal'alamiin.

Malang, April 2021

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	8
1.4 Manfaat.....	9
1.5 Batasan Masalah.....	9
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Vanadium	10
2.2 Sumber Vanadium	13
2.3 Toksisitas Vanadium	14
2.4 Bioremediasi.....	16
2.5 Bakteri Pereduksi Vanadium.....	20
2.6 Mekanisme Bakteri Mereduksi Vanadium.....	24
2.7 Kurva Pertumbuhan Bakteri	25
2.8 Spektrofotometer	27
2.9 Teknik Identifikasi Bakteri.....	29
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1 Rancangan Penelitian	33
3.2 Waktu dan Tempat	33
3.3 Alat dan Bahan	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Kemampuan Isolat Bakteri S2-4 dari Pertambangan Minyak Wonocolo dalam Mereduksi Logam Vanadium	39
4.2 Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri S2-4 dari Pertambangan Minyak Wonocolo	46
4.3 Integrasi Sains dan Islam	48

BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat fisika dari logam vanadium	11
2.2 Status valensi dan kelarutan dalam air berbagai senyawa vanadium.....	12
2.3 Nutrisi yang diperlukan oleh mikroba.....	19
2.4 Diameter hasil zona hambat	23
2.5 Daerah spektrum gelombang elektromagnetik.....	28
2.6 Panjang gelombang warna-warna dalam daerah cahaya tampak.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Reaksi hidrolisis dan oksidasi vanadium	15
2.2 Mekanisme reduksi vanadium.....	25
2.3 Kurva pertumbuhan bakteri	26
2.4 Bagan susunan spektrofotometer	29
2.5 Karakteristik koloni bakteri	30
4.1 Grafik kurva pertumbuhan bakteri isolat S2-4.....	40
4.2 Perubahan warna pada media tumbuh bakteri	44
4.3 Diagram reduksi vanadium oleh isolat bakteri S2-4	46
4.4 Hasil pengamatan makroskopis isolate bakteri S2-4	47
4.5 Cat Gram isolat S2-4.....	48

DAFTAR LAMPIRAN

1. Pembuatan Larutan Stok NaVO_3 100 mM dalam 100 mL Aquades.....	57
2. Pembuatan Larutan NaVO_3 untuk perlakuan	58
3. Hasil Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri	60
4. Hasil Kurva Reduksi	63
5. Bukti Konsultasi Pembimbing Biologi.....	64
6. Bukti Konsultasi Pembimbing Agama	65

Uji Reduksi dan Identifikasi Isolat Bakteri Resisten Vanadium dari Pertambangan Minyak Bumi Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro

Radhwa Hayyu A.H., Bayu Agung Prahardika, Oky Bagas Prasetyo

ABSTRAK

Vanadium merupakan golongan logam transisi yang memiliki nomor atom 23. Bilangan oksidasi vanadium terdiri dari -1, +1, +2, +3, +4, dan +5. Vanadium bersifat toksik pada tingkat oksidasi +4 dan +5. Kandungan logam vanadium di wilayah pertambangan minyak Wonocolo sebesar 325,48 μM , sedangkan ambang batas kadar vanadium pada perairan sebesar 1,963 μM . Oleh karena itu, digunakan bakteri sebagai agen bioremediasi untuk menanggulangi pencemaran logam vanadium. Bakteri yang digunakan pada penelitian ini merupakan bakteri resisten vanadium (V) yang telah diuji resistensi pada penelitian sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui spesies bakteri serta kemampuannya dalam mereduksi logam vanadium. Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi peremajaan bakteri resisten vanadium menggunakan media *tryptone yeast glucose agar* (TYG Agar) dengan penambahan sodium orthovanadate (NaVO_3) konsentrasi 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM. Dilakukan identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis pada koloni bakteri yang tumbuh. Kemudian dilakukan pembuatan kurva pertumbuhan bakteri dan dilanjutkan uji reduksi menggunakan media TYG Broth dengan penambahan sodium orthovanadate (NaVO_3) konsentrasi 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM. Kemampuan bakteri dalam mereduksi vanadium diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 526 nm. Hasil uji reduksi menunjukkan bahwa isolat S2-4 mereduksi vanadium (V) menjadi vanadium (IV) yang ditandai dengan adanya perubahan pada media cair dari kuning ke biru-kehijauan. Kemampuan mereduksi logam vanadium paling optimal terdapat pada konsentrasi 15 mM dengan persentase sebesar 84,33%. Isolat S2-4 memiliki karakteristik bentuk koloni *irregular*, permukaan *raised*, dan bentuk tepi *entire*. Isolat bakteri S2-4 merupakan bakteri basil Gram positif.

Kata kunci: Reduksi vanadium, identifikasi, bakteri resisten vanadium, pertambangan minyak bumi

Reduction Test and Identification of Vanadium Resistant Bacterial Isolates from Petroleum Mining in Wonocolo Village, Kedewan District, Bojonegoro Regency

Radhwa Hayyu A.H., Bayu Agung Prahardika, Oky Bagas Prasetyo

ABSTRACT

Vanadium is a group of transition metals having the atomic number 23. The oxidation numbers for vanadium consist of -1, +1, +2, +3, +4, and +5. Vanadium is toxic at the +4 and +5 oxidation states. The vanadium metal content in the Wonocolo oil mining area was 325.48 μM , while the vanadium level in the waters was 1.963 μM . Therefore, bacteria are used as bioremediation agents to tackle the contamination of vanadium metal. The bacteria used in this study are vanadium (V) resistant bacteria that have been tested for resistance in previous studies. The purpose of this study was to determine the species of bacteria and their ability to reduce vanadium metal. The method used in this study included rejuvenation of vanadium resistant bacteria using tryptone yeast glucose agar (TYG Agar) media with the addition of sodium orthovanadate (NaVO_3) at concentrations of 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, and 20 mM. Macroscopic and microscopic identification was carried out on the growing bacterial colonies. Then the bacterial growth curve was made and continued with the reduction test using TYG Broth media with the addition of sodium orthovanadate (NaVO_3) concentrations of 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, and 20 mM. The ability of bacteria to reduce vanadium was measured using a spectrophotometer with a wavelength of 526 nm. The results of the reduction test showed that the S2-4 isolate reduced vanadium (V) to vanadium (IV) which was indicated by a change in the liquid medium from yellow to blue-greenish. The optimal ability to reduce vanadium metal is found at a concentration of 15 mM with a percentage of 84.33%. Isolate S2-4 has a characteristic irregular colony shape, raised surface, and entire edge shape. The S2-4 bacterial isolate is a Gram-positive bacil bacteria.

Keywords: Vanadium reduction, identification, vanadium resisten bacterial, petroleum mining

اختبار التخفيض وتحديد العزلات البكتيرية المقاومة للفاناديوم من تعدين البترول في قرية ونوكولو ، مقاطعة كيديوان ، بوجونيفورو ريجنسي

رَضْوَى حَيُّ أ.ه.، بَايُو أُغُونُجُ فَرَاهَرْدِيكَا، أُوْكِي بَغَاسُ فَرَاَسْتِيُو

مستخلص البحث

الفاناديوم عبارة عن مجموعة من المعادن الانتقالية لها العدد الذري ٢٣. تتكون أعداد أكسدة الفاناديوم من ١- و ١+ و ٢+ و ٣+ و ٤+ و ٥+. الفاناديوم سام في حالتي الأكسدة ٤+ و ٥+. كان محتوى معدن الفاناديوم في منطقة تعدين النفط في ونوكولو ٣٢٥.٤٨ ميكرومتر ، بينما كان مستوى الفاناديوم في المياه ١.٩٦٣ ميكرومتر. لذلك ، يتم استخدام البكتيريا كعوامل معالجة حيوية لمعالجة تلوث معدن الفاناديوم. البكتيريا المستخدمة في هذه الدراسة هي البكتيريا المقاومة للفاناديوم (٥) التي تم اختبار مقاومتها في دراسات سابقة. كان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد أنواع البكتيريا وقدرتها على تقليل معدن الفاناديوم. تضمنت الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة تجديد البكتيريا المقاومة للفاناديوم باستخدام أوساط أجار خميرة الجلوكوز التريبتوني (TYG Agar) مع إضافة NaVO3 بتركيزات ٠ مم ، ٥ مم ، ١٠ مم ، ١٥ مم ، و ٢٠ مم. تم إجراء تحديد مجهري ومجهري على المستعمرات البكتيرية النامية. ثم تم عمل منحنى النمو البكتيري واستمر باختبار الاختزال باستخدام وسط TYG Broth مع إضافة تركيزات NaVO3 من ٠ مم ، ٥ مم ، ١٠ مم ، ١٥ مم ، و ٢٠ مم. تم قياس قدرة البكتيريا على تقليل الفاناديوم باستخدام مقياس طيف ضوئي بطول موجي ٥٢٦ نانومتر. أظهرت نتائج اختبار الاختزال أن العزلة S2-4 قللت الفاناديوم (٥) إلى الفاناديوم (٤) والذي دل عليه تغير الوسط السائل من الأصفر إلى الأزرق المخضر. القدرة على تقليل معدن الفاناديوم مثالية بتركيز ١٥ ملم وبنسبة ٨٤.٣٣٪. تتميز العزلة S2-4 بشكل مستعمرة غير منتظم مميز و سطح مرتفع وشكل حافة كامل. العزلة البكتيرية S2-4 هي بكتيريا عصية موجبة الجرام.

الكلمات المفتاحية: اختزال الفاناديوم ، التحديد ، البكتيريا المقاومة للفاناديوم ، التنقيب عن البترول

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan pembangunan industri di Indonesia semakin meningkat, diantaranya yaitu industri migas, pertanian, dan industri non migas. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Kerusakan lingkungan dapat terjadi karena limbah yang dihasilkan dari industri-industri tersebut mencemari perairan, udara, dan tanah. Limbah tersebut dapat berupa limbah B3, logam berat, dan bahan-bahan kimia seperti pestisida (Mulyani & Rijal, 2018). Lingkungan perairan yang tercemar memiliki ciri-ciri pH air yang tinggi, air menjadi berbau dan berwarna, suhu air menjadi lebih tinggi, dan memiliki rasa baik itu asin, manis, atau asam (Dinas Lingkungan Hidup, 2020).

Pencemaran logam berat menjadi salah satu masalah yang harus dihadapi di masa sekarang. Salah satu lingkungan yang terdampak dari adanya pencemaran yaitu wilayah perairan. Secara umum pencemaran dapat disebabkan secara alami maupun oleh aktivitas manusia. Menurut Siaka *et al.* (2016) pencemaran secara alami dapat disebabkan karena tanah longsor, hujan, dan pengikisan batuan. Sedangkan pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia antara lain limbah dari hasil kegiatan industri, limbah rumah tangga, dan limbah pertanian. Selain itu, pencemaran logam berat dapat berasal dari aktivitas manusia seperti pertambangan minyak bumi.

Kebutuhan minyak bumi di Indonesia masih mendominasi dengan persentase 31,5% pada tahun 2014 dan pada tahun 2016 Negara Indonesia menduduki peringkat ke-21 sebagai penghasil minyak bumi terbesar di dunia.

Minyak bumi tersebut digunakan sebagai bahan baku industri, bahan pembangkit listrik, dan bahan bakar kendaraan (Sugiyono *et al.*, 2016). Terdapat tujuh provinsi penghasil minyak bumi di Indonesia yaitu Sumatera Selatan, Kepulauan Riau, Papua Barat, Sektor Laut Jawa, Riau, Jawa Timur, dan Kalimantan Timur (Jurdilla *et al.*, 2019).

Aktivitas pertambangan minyak di Indonesia telah dilakukan sejak zaman penjajahan Belanda. Berdasarkan data SKK Migas pada tahun 2016 terdapat 13.824 sumur minyak peninggalan Belanda dan diantaranya terdapat 745 sumur yang masih aktif. Aktivitas pertambangan minyak pada sumur-sumur tersebut telah dilakukan sebelum tahun 1970. Salah satu sumur peninggalan Belanda terdapat di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro (Handrianto *et al.*, 2012).

Aktivitas pertambangan minyak bumi di Desa Wonocolo masih dilakukan secara tradisional yang tersebar di 44 sumur yang dalam sehari mampu memproduksi minyak sebanyak 25.771 liter (Handrianto *et al.*, 2012). Aktivitas penambangan tentunya akan menghasilkan limbah minyak yang mengandung beberapa logam. Logam-logam tersebut antara lain besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) (Owamah, 2013). Selain itu terdapat juga logam vanadium (V) (Van Marwijk *et al.*, 2009). Kandungan logam vanadium yang terdapat di wilayah pertambangan minyak Wonocolo sudah melewati batas standar sebesar 325,48 μM (Ihsanuddin, 2018). Sedangkan ambang batas logam vanadium menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 02 Tahun 2011 pada limbah cair sebesar 1,963 μM . Berdasarkan hal tersebut, logam vanadium telah melampaui ambang batas yang

ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup, sehingga perlu dilakukan upaya untuk menanggulangnya. Berdasarkan penjelasan tersebut manusia seharusnya tidak mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan. Sebagaimana firman Allah dalam QS.Al-Maidah ayat 77 yang berbunyi:

قُلْ يَا أَهْلَ الْكِتَابِ لَا تَغْلُوا فِي دِينِكُمْ غَيْرَ الْحَقِّ وَلَا تَتَّبِعُوا أَهْوَاءَ قَوْمٍ قَدْ ضَلُّوا مِنْ قَبْلُ وَأَضَلُّوا كَثِيرًا وَضَلُّوا عَنْ سَوَاءِ السَّبِيلِ

Artinya: *Katakanlah (Muhammad), "Wahai Ahli Kitab! Janganlah kamu berlebih-lebihan dengan cara yang tidak benar dalam agamamu. Dan janganlah kamu mengikuti keinginan orang-orang yang telah tersesat dahulu dan (telah) menyesatkan banyak (manusia), dan mereka sendiri tersesat dari jalan yang lurus."* (QS.Al-Maidah ayat 77).

Ayat tersebut merupakan peringatan kepada dua kelompok Ahl al-Kitab agar tidak melampaui batas serta mengikuti hawa nafsu layaknya orang Yahudi serta Nasrani. Kata (تَغْلُوا) *taghlu* yang artinya kamu berlebih-lebihan, digunakan juga untuk mengetahui hakikat suatu hal dengan sungguh-sungguh serta menganalisis yang tersembunyi dari suatu teks, karena itu ditambahkan kata (غَيْرَ) (*ghair al-haq*) yang artinya tidak benar atau tercela. Dengan demikian tidak diperbolehkan berlebihan dalam suatu hal dengan cara yang tercela, seperti mengeksploitasi sumber daya alam sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan dan kondisi lingkungan menjadi tidak stabil (Shihab, 2002).

Vanadium merupakan golongan logam transisi dan termasuk komponen esensial dalam tubuh yang memiliki nomor atom 23 (Pessoa *et al.*, 2014) (Domingo & Gómez, 2016). Bilangan oksidasi vanadium terdiri dari -1, +1, +2, +3, +4, dan +5. Tingkat oksidasi vanadium yang lebih rendah seperti vanadium

(III) dapat berubah menjadi vanadium (IV) melalui hidrolisis atau oksidasi (Nedrich *et al.*, 2018). Bilangan oksidasi vanadium yang paling umum yaitu +2, +3, +4 (vanadyl), dan +5 (vanadate) (Taroni, 2017). Semakin tinggi bilangan oksidasi logam vanadium maka akan semakin berbahaya. Vanadium akan bersifat toksik pada tingkat oksidasi +4 dan +5, meskipun bersifat toksik vanadium termasuk komponen esensial yang dibutuhkan dalam tubuh (Van Marwijk *et al.*, 2009). Kandungan mineral vanadium dalam tubuh berkisar antara 10 µg/hari dan dapat ditemukan pada jaringan lemak. Mineral vanadium berfungsi dalam metabolisme lipid dan glukosa (Barceloux, 1999).

Pencemaran vanadium berasal dari debu vulkanik dan industri batubara serta minyak mentah (Rehder, 2016). Selain itu vanadium juga dapat berasal dari industri keramik, karena vanadium pentoksida digunakan dalam pembuatan keramik (Lide, 2001). Vanadium dimanfaatkan dalam proses produksi perkakas yang tahan karat dan digunakan sebagai penstabil karbida dalam membuat baja. Sehingga limbah dari industri tersebut dapat mengandung vanadium (Barceloux, 1999).

Senyawa vanadium dapat bersifat karsinogenik pada manusia. Menurut Assem & Levy (2009), paparan berlebih dari logam vanadium di udara dapat menyebabkan iritasi mata, gangguan pada saluran pernafasan serta, memberikan efek yang lainnya pada paru-paru. Selain itu vanadate dan vanadyl dapat menyebabkan aneuploidi, inflamasi, dan bersifat karsinogenik pada paru-paru. Korbecki *et al.* (2015) juga menjelaskan bahwa logam vanadium dapat menyebabkan proliferasi sel, dan apoptosis sel. Yang *et al.* (2017) menjelaskan bahwa vanadium yang terakumulasi di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan

asma, rinitis, anemia, uremia, dan kanker paru-paru. Nedrich *et al.* (2018) menyatakan bahwa vanadate bersifat racun pada setiap organisme dikarenakan mampu menghambat berbagai metabolisme tubuh, termasuk fosfohidrolase dan enzim. Berbagai penyakit tersebut dapat dihindari apabila manusia mampu menjaga lingkungan, sebagaimana firman Allah dalam QS.Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (QS.Ar-Rum ayat 41).*

Peran manusia di muka bumi sebagai khalifah memiliki tanggung jawab untuk mencegah berbagai kerusakan yang terjadi di bumi. Kata (الْفَسَادُ) *al-fasad* menurut al-Ashfahani adalah terjadinya ketidakseimbangan, baik sedikit maupun banyak. Kata tersebut mengacu pada fisik maupun rohani atau hal lainnya. Dari ayat tersebut dijelaskan bahwa kerusakan yang terjadi merupakan akibat dari ulah manusia sehingga terjadi ketidakseimbangan serta berkurangnya nilai manfaat yang diperoleh dari darat ataupun perairan. Salah satu contoh ketidakseimbangan yang disebabkan oleh manusia adalah terjadinya pencemaran baik di wilayah perairan maupun daratan. Allah SWT telah menciptakan alam dengan kondisi yang seimbang serta disesuaikan dengan kebutuhan hidup manusia di bumi. Tetapi mereka melakukan kegiatan yang mengganggu hingga menyebabkan rusaknya alam, sehingga terjadilah ketidakseimbangan di alam (Shihab, 2002).

Pencemaran logam vanadium di Wonocolo sudah melewati ambang batas sehingga perlu dilakukan upaya untuk menanggulangi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi cemaran logam vanadium yaitu dengan melakukan remediasi. Remediasi dapat dilakukan secara fisik, kimia, dan biologi. Metode remediasi secara biologi terdiri atas fitoremediasi dan bioremediasi. Menurut Kurniawan & Ekowati (2016) bioremediasi merupakan cara yang aman dan tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan karena memanfaatkan makhluk hidup sebagai agen bioremediasi, sehingga dari segi biaya akan lebih hemat. Srinivas (2008) menjelaskan bahwa, bioremediasi merupakan cara untuk mereduksi polutan menggunakan bantuan mikroorganisme baik bakteri maupun jamur. Beberapa mikroorganisme seperti bakteri telah resisten terhadap polutan logam berat, baik pada lingkungan air maupun darat. Logam berat tersebut digunakan oleh bakteri sebagai mikronutriennya.

Beberapa contoh bakteri yang dapat digunakan sebagai bioremediasi logam vanadium menurut Ueki *et al.* (2019) yaitu *Pseudomonas isachenkovii*, *Ralstonia* sp., dan *Styela plicata*. *Pseudomonas isachenkovii* yang diisolasi dari usus Ascidian diketahui toleran terhadap vanadium dengan konsentrasi 6 mM. Selain ketiga spesies bakteri tersebut, Romaidi & Ueki (2016) menjelaskan bahwa terdapat bakteri resisten vanadate dengan konsentrasi 10 mM yaitu *Vibrio splendidus*, *Vibrio tasmaniensis*, *Vibrio tapetis*, *Shewanella kaireitica*, *Shewanella pasifica*, dan *Shewanella olleyana*. Bakteri-bakteri tersebut diisolasi dari organ intestinal Ascidian. *Shewanella oneidensis* mampu tumbuh dengan adanya vanadate sebagai akseptor elektron tunggal dan mereduksi vanadate menjadi ion vanadyl.

Bakteri yang digunakan pada penelitian ini merupakan isolat bakteri dari Laboratorium Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang diisolasi dari pertambangan minyak bumi Wonocolo. Dari hasil isolasi tersebut diperoleh 15 isolat bakteri, kemudian 15 isolat tersebut ditumbuhkan pada media dengan konsentrasi logam vanadium (V) 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM dan diuji resistensinya. Uji resistensi dilakukan dengan menggunakan metode difusi agar dan diperoleh enam isolat bakteri yang menghasilkan zona bening pada semua konsentrasi logam vanadium (V). Kemudian dilakukan pengukuran diameter zona bening dan menunjukkan hasil bahwa isolat bakteri S2-4 merupakan bakteri paling resisten. Hal tersebut ditunjukkan dengan diameter zona bening yang dihasilkan sebesar 0,3 mm pada konsentrasi logam vanadium 20 mM (Ihsanuddin, 2018). Apabila ukuran zona hambat lebih dari 1 mm maka bakteri tersebut tergolong ke dalam bakteri sensitif, apabila ukuran zona hambat kurang dari 1 mm bakteri tersebut tergolong bakteri yang resisten (Sabdono, 2009). Pada penelitian sebelumnya belum dilakukan uji reduksi logam vanadium dan penelitian mengenai uji reduksi vanadium dari pertambangan minyak masih jarang dilakukan. Sehingga penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri dari pertambangan minyak dalam mereduksi vanadium.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kemampuan isolat bakteri S2-4 dari pertambangan minyak Wonocolo dalam mereduksi logam vanadium?

2. Bagaimana karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri S2-4 dari pertambangan minyak Wonocolo?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk:

1. Mengetahui kemampuan isolat bakteri S2-4 dari pertambangan minyak Wonocolo dalam mereduksi logam vanadium.
2. Mengetahui karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri S2-4 dari pertambangan minyak Wonocolo.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik makroskopis dan mikroskopis bakteri yang mampu mereduksi logam vanadium.
2. Isolat bakteri S2-4 dapat digunakan sebagai agen bioremediasi pencemaran logam vanadium pada pertambangan minyak Wonocolo Kabupaten Bojonegoro.
3. Isolat bakteri S2-4 yang mampu mereduksi logam vanadium dapat digunakan untuk bioaugmentasi pada pertambangan minyak Wonocolo Kabupaten Bojonegoro.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Isolat yang digunakan merupakan koleksi isolat bakteri S2-4 yang resisten vanadium dari Laboratorium Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah diisolasi sebelumnya dari limbah cair tambang minyak Wonocolo Kabupaten Bojonegoro.
2. Media yang digunakan untuk uji pada penelitian ini yaitu TYG (*Tryptone, Yeast, Glucose*).
3. Logam vanadium yang digunakan adalah sodium metavanadate (NaVO_3) dengan bilangan oksidasi +5.
4. Konsentrasi logam vanadium (V) yang digunakan yaitu 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM.
5. Identifikasi makroskopis yang dilakukan meliputi bentuk koloni, bentuk tepi koloni, dan bentuk permukaan koloni.
6. Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan menggunakan pewarnaan cat Gram.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vanadium

Vanadium merupakan logam transisi dengan nomor atom 23 dan berat atom 50,9415 g/mol. Pada tabel periodik vanadium termasuk golongan VA (Domingo & Gómez, 2016)(Lide, 2001). Logam vanadium memiliki warna abu-abu dan tahan korosi terhadap alkali, asam sulfur, dan asam klorida. Vanadium lebih mudah teroksidasi di atas suhu 660°C (Lide, 2001). Bilangan oksidasi dari vanadium terdiri dari -1, +1, +2, +3, +4, dan +5. Logam vanadium yang biasa ditemui di alam terdiri atas bilangan oksidasi +3, +4 (vanadyl), dan +5 (vanadate). Keadaan oksidasi logam vanadium paling stabil saat bilangan oksidasi +4 (Barceloux, 1999). Tabel 2.2 menunjukkan status valensi dan kelarutan senyawa vanadium pada air.

Jenis-jenis senyawa vanadium antara lain yaitu, Vanadium (II) bromide (VBr_2), Vanadium (II) chloride (VCl_2), Vanadium (III) bromide (VBr_3), Vanadium (III) chloride (VCl_3), Vanadium (III) fluoride (VF_3), Vanadium (III) oxide (V_2O_3), Vanadium (III) sulfide (V_2S_2), Vanadium (IV) chloride (VCl_4), Vanadium (IV) oxide (VO_2), dan Vanadium (V) oxide (V_2O_5) (Lide, 2001). Menurut Barceloux (1999), vanadium memiliki jenis yang lain seperti vanadium pentoksida yang memiliki bilangan oksidasi +5. Vanadium pentoksida (V_2O_5) berwarna kekuningan hingga merah kecoklatan dan sedikit larut dalam air. Selain itu, terdapat trivalent vanadium (V_2O_3) yang merupakan pereduksi dan larut dalam

asam sehingga membentuk ion hexaqua berwarna hijau. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisika dari logam vanadium.

Tabel 2.1 Sifat Fisika dari Logam Vanadium (Barceloux, 1999).

	Berat Molekul	Warna	Densitas g/cm ³	Titik Leleh, °C	Kelarutan dalam Air, 20°C
Vanadium	50,942	Abu-abu atau putih	6,11 (18,7°C)	1880-1900	Tidak larut
Vanadium pentoxida	181,9	Kuning kecoklatan	3,357 (18°C)	690	1 g/125 mL
Vanadyl sulfat	163	Biru	Tidak ada data	Tidak ada data	Larut
Sodium meta-vanadate	121,93	Colourless crystals	Tidak ada data	Tidak ada data	211 g/L (25°C), 388 g/L (75°C)
Sodium orthovanadate	183,91	Colourless	Tidak ada data	850-856	Larut
Ammonium meta-vanadate	116,98	Putih-kuning Kristal	2,326 (20°C)	200 (dekompos)	Sedikit larut

Tabel 2.2 Status Valensi dan Kelarutan dalam Air Berbagai Senyawa Vanadium (Assem & Levy, 2009).

Senyawa Vanadium	Formula	CAS	Valensi	Kelarutan dalam Air (g/l) pada suhu 20-25°C (HSBD, 2009; WHO, 2001)
Vanadium	V	7440-62-2	0	Tidak dapat larut
Vanadium pentoxida	V ₂ O ₅	1314-62-1	+5	8
Sodium meta vanadate	NaVO ₃	13718-26-8	+5	211
Sodium ortho-vanadate, trisodium tetraoxovanadate	Na ₃ VO ₄	13721-39-6	+5	Dapat larut
Ammonium meta-vanadate, ammonium trioxovanadate	NH ₄ VO ₃	7803-55-6	+5	58 (WHO, 2001), 5,2 pada 15°C (HSBD, 2009)
Vanadium oxytrichloride, vanadium trichloride oxide	VOCl ₃	7727-18-6	+5	Larut, terurai oleh uap air menjadi asam vanadic dan HCl
Vanadyl sulfate, vanadium oxide sulfate	VOSO ₄	27774-13-6	+4	535 pada 20°C
Vanadium	VCl ₄	7632-51-1	+4	Terurai

tetrachloride				
Vanadyl oxychloride, vanadium dichloride oxide	VOCl_2	10213-09- 9	+3	Terurai
Vanadium trioxide, divanadium trioxide	V_2O_3	1314-34-7	+3	Sedikit larut

2.2 Sumber Vanadium

Kelimpahan vanadium menduduki urutan ke-19 di bumi dengan jumlah 0,015-0,016%, 150-160 ppm (Ueki, 2015). Vanadium dapat ditemukan pada karnotit, roscoelit, vanadinit, patronit, dan 65 mineral lainnya. Selain pada mineral, vanadium juga ditemukan dalam batuan fosfat, bijih besi, dan minyak mentah dalam bentuk kompleks organik. Vanadium digunakan dalam industri keramik, produksi perkakas yang tahan karat, dan sebagai penstabil karbida dalam membuat baja (Lide, 2001). Selain itu vanadium juga digunakan sebagai katalis untuk produksi asam sulfat dan untuk konversi naftalena menjadi anhidrida ftalat selama pembentukan plastik (Barceloux, 1999).

Vanadium dapat berupa vanadat terlarut (H_2VO_4) dalam nutrisi, air tawar, dan air laut. Senyawa vanadium yang tidak larut seperti V_2O_5 , V_2O_4 , dan V_2O_3 berupa partikel debu di udara yang berasal dari debu vulkanik dan industri batubara serta minyak mentah. V_2O_5 dapat menyebabkan peradangan pada saluran pernafasan apabila terhirup oleh manusia. Konsentrasi maksimum yang diizinkan untuk V_2O_5 di udara bebas wilayah industri adalah $0,05 \text{ mg/m}^3$ (Rehder, 2016).

Selain dari udara, vanadium juga terdapat dalam tanah. Jenis tanah yang mengandung konsentrasi vanadium tertinggi adalah Tundra podzols dan clay. Sumber vanadium di tanah paling banyak disebabkan oleh pelapukan batuan daripada dari sumber antropogenik, seperti pupuk super fosfat (0,05-2 g V/kg) dan terak basa (1-5 g V/kg). Batuan dasar mengandung konsentrasi vanadium yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan netral dan asam. Kandungan vanadium pada air minum tidak terlalu banyak, sekitar 1-20 $\mu\text{g/L}$. Sedangkan vanadium pada sungai berkisar hingga 220 $\mu\text{g V/L}$ (Barceloux, 1999).

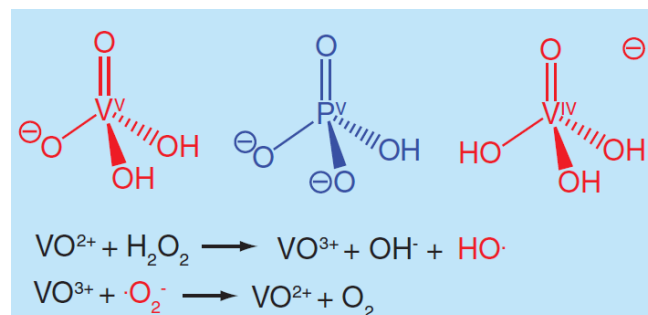
Makanan dapat menjadi sumber vanadium. Dalam makanan vanadium berupa vanadil hidroksida $\text{VO}(\text{OH})_2$ (Rehder, 2016). Kadar vanadium yang dibutuhkan tubuh hanya sedikit, sebesar 10 $\mu\text{g/hari}$. Kadar vanadium pada lada hitam, biji adas, dan jamur dengan jumlah 0,05-2 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan pada ikan, kerang, dan bayam kandungan vanadium sekitar 0,5-0,8 $\mu\text{g/g}$. Secara umum, makanan yang berasal dari laut memiliki konsentrasi vanadium lebih tinggi dibandingkan dengan sumber makanan hewani terestrial. Buah, sayuran segar, hati, dan lemak mengandung jumlah yang lebih kecil, sebesar 1-10 ng V/g. konsentrasi vanadium yang tinggi terdapat pada tembakau dan asap tembakau (1-8 ppm) (Barceloux, 1999).

2.3 Toksisitas Vanadium

Vanadium memiliki potensi beracun pada tingkat oksidasi yang tinggi yaitu vanadium (V). Semakin tinggi tingkat oksidasi vanadium maka akan semakin tinggi tingkat toksisitasnya. Namun, pada tingkat oksidasi vanadium yang lebih rendah seperti vanadium (IV) dan vanadium (III) dapat berubah menjadi

vanadium (V) melalui hidrolisis atau oksidasi (Nedrich *et al.*, 2018). Reaksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.

Berdasarkan penelitian Assem & Levy (2009) secara *in vivo* dan *in vitro* dijelaskan bahwa senyawa vanadium (V) dan vanadium (IV) mampu memicu kerusakan DNA dan gangguan dalam integritas kromosom. Selain itu juga dapat menyebabkan aneuploidi, inflamasi, dan bersifat karsinogenik pada paru-paru. Menurut Korbecki *et al.* (2015) paparan vanadium di udara dapat menyebabkan kanker paru-paru, menstimulasi proliferasi sel, dan apoptosis sel. Ueki (2015) juga menjelaskan bahwa pencemaran vanadium pentoksida di udara dapat menyebabkan terganggunya saluran pernafasan, bronkitis, trakeitis, pneumonia, dan edema paru-paru.



Gambar 2.1 Reaksi hidrolisis dan oksidasi vanadium (Rehder, 2016).

Senyawa vanadium memiliki sifat karsinogenik dan merangsang perkembangan tumor. Kation vanadyl dan V_2O_5 ditemukan di udara, menghasilkan ROS (reaktif oksigen) yang menyebabkan kerusakan DNA sehingga terjadi mutasi. Senyawa vanadium lain, seperti vanadium pentoksida di udara dapat menyebabkan inflamasi paru-paru (Korbecki *et al.*, 2012).

2.4 Bioremediasi

2.4.1 Pengertian Bioremediasi

Bioremediasi merupakan cara yang digunakan untuk menurunkan kadar polutan pada lingkungan darat maupun perairan dengan menggunakan mikroorganisme. Ketika proses bioremediasi mikroorganisme akan menghasilkan berbagai enzim yang akan memecah struktur polutan sehingga tidak beracun dan berbahaya. Polutan-polutan tersebut berupa logam berat, petroleum hidrokarbon, pestisida, herbisida, nutrisi yang terdapat dalam air seperti nitrogen dan fosfat (Priadie, 2012). Bioremediasi merupakan cara yang aman dan tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, karena menggunakan makhluk hidup sebagai agen bioremediasi sehingga dari segi biaya akan lebih hemat (Kurniawan & Ekowati, 2016). Pemerintah Indonesia telah mengatur kegiatan bioremediasi untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan pertambangan dan perminyakan melalui Kementerian Lingkungan Hidup, Kep Men LH No.128 tahun 2003, tentang cara dan persyaratan teknis dan pengelolaan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis atau disebut bioremediasi (Priadie, 2012).

Teknik bioremediasi secara umum ada dua jenis, yaitu *in situ* dan *ex situ*. Teknik bioremediasi secara *in situ* dilakukan langsung pada lokasi yang tercemar, sedangkan teknik bioremediasi secara *ex situ* dilakukan dengan cara memindahkan tanah maupun pemompaan air yang tercemar kemudian diberi perlakuan khusus dengan menggunakan mikroba (Suryani, 2011). Menurut Vidali (2001) teknik bioremediasi secara *in situ* terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain yaitu:

1. *Bioventing*, merupakan jenis bioremediasi yang menggunakan laju aliran udara rendah dan hanya menyediakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk biodegradasi sambil meminimalkan volatilisasi dan pelepasan kontaminan ke atmosfer. Ini bekerja untuk hidrokarbon sederhana dan dapat digunakan apabila kontaminasi jauh di bawah permukaan.
2. Biodegradasi *in situ*, melibatkan penyediaan oksigen dan nutrisi dengan mengedarkan larutan air melalui tanah yang terkontaminasi untuk menstimulasi bakteri indigen untuk menurunkan kontaminan organik. Teknik ini dapat digunakan untuk kontaminasi pada tanah dan air.
3. *Biosparging*, teknik ini mengacu pada injeksi udara dan laju air yang cukup sehingga meningkatkan laju degradasi biologis kontaminan oleh bakteri alami.
4. Bioaugmentasi, merupakan penambahan mikroorganisme eksogen ke lingkungan yang terkontaminasi.

Teknik bioremediasi secara *ex situ* menurut Vidali (2001) terdapat beberapa jenis, diantaranya adalah:

1. *Landfarming*, tanah yang terkontaminasi digali dan disebar di atas lahan yang telah disiapkan dan dilakukan secara berkala sampai polutan terdegradasi. Tujuannya untuk merangsang bakteri indigen untuk mendegradasi kontaminan secara aerobik. Secara umum, praktiknya terbatas pada perawatan permukaan tanah 10–35 cm.
2. *Komposting*, adalah teknik yang menggabungkan tanah yang tercemar dengan bahan organik yang tidak berbahaya seperti kotoran ternak atau limbah

pertanian. Kehadiran bahan organik ini mendukung pengembangan populasi mikroba.

3. *Biopiles*, adalah gabungan dari teknik landfarming dan pengomposan. *Biopiles* menyediakan lingkungan yang menguntungkan bagi bakteri indigen aerob dan anaerob.
4. Bioreaktor, bioremediasi dalam reaktor melibatkan pemrosesan bahan padat yang terkontaminasi (tanah, sedimen, lumpur) atau air melalui sistem penahanan yang direkayasa. Bioreaktor dapat didefinisikan sebagai bejana kontainmen dan peralatan yang digunakan untuk membuat kondisi pencampuran tiga fase (padatan, cair, dan gas) untuk meningkatkan laju bioremediasi polutan yang terkontaminasi dan biomassa (mikroorganisme asli) yang mampu menurunkan kontaminan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi bioremediasi antara lain jumlah mikroba pendegradasi polutan, faktor lingkungan yang meliputi suhu, pH, keberadaan oksigen atau akseptor elektron lainnya, dan nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba. Nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba meliputi karbon, nitrogen, oksigen, dan hidrogen Vidali (2001). Tabel 2.3 menunjukkan nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba.

Tabel 2.3 Nutrisi yang diperlukan oleh mikroba (Vidali, 2001).

Unsur	Persentase (%)
Karbon	50
Nitrogen	14
Oksigen	20
Hidrogen	8
Fosfor	3
Sulfur	1
Potassium	1
Sodium	1
Kalsium	0,5
Magnesium	0,5
Klorida	0,5
Besi	0,2
Lain-lain	0,3

2.4.2 Agen Bioremediasi

Agen bioremediasi tidak hanya bakteri dan jamur, tetapi juga dapat berupa tanaman hiperakumulator. Salah satunya yaitu rumput laut *Gracilaria* sp., tanaman tersebut mampu mengakumulasi logam timbal (Pb). Makroalga dalam menyerap logam berat melewati beberapa tahapan yaitu adsorpsi, absorpsi, distribusi, metabolisme, detoksifikasi, interaksi, dan efek toksik (Ihsan *et al.*, 2015).

Selain tanaman hiperakumulator sebagai agen bioremediasi, tunikata juga mampu digunakan sebagai agen bioremediasi. Menurut Ali *et al.* (2015) ascidian, *Phallusia nigra*, mampu mengakumulasi logam kadmium, tembaga, timbal, merkuri, dan vanadium. Tunikata akan mengakumulasi logam berat di dalam tuniknya atau pada bagian mantel mereka. Menurut penjelasan Radhalakshimi *et*

al. (2014) ascidian akan mereduksi vanadium (V) menjadi vanadium (IV) kemudian akan disimpan pada mantel atau bagian tuniknya sebagai vanadium (III).

Kebutuhan vanadium sebagai elemen penting telah ditetapkan untuk beberapa kelompok organisme beberapa jamur, bakteri *Streptomyces*, lumut dan alga memiliki haloperoksidase yang bergantung pada vanadate yang mengkatalisasi oksidasi dua elektron halida dan pseudohalida. Beberapa bakteri dan cyanobacteria menggunakan nitrogenase vanadium-dependen dalam fiksasi nitrogen, yaitu konversi N_2 menjadi NH_4^+ . Selain itu, ascidian dapat mengakumulasi vanadium, dalam bentuk V^{3+} terhidrasi, dalam sel darah khusus yang disebut vanadosit hingga konsentrasi 0,3 M (Rehder, 2016).

2.5 Bakteri Pereduksi Vanadium

Bakteri merupakan makhluk hidup berukuran mikro yang tidak memiliki membran inti sel serta berperan penting bagi kehidupan (Pelczar & Chan, 2013). Mikroba dapat bertahan hidup pada kondisi stabil, ekstrem, dingin, panas, garam dengan konsentrasi tinggi, bahkan mampu hidup di lingkungan dengan radioaktivitas tinggi. Beberapa mikroba juga dapat hidup pada lingkungan yang tercemar logam berat. Bakteri *Bacillus subtilis* sering digunakan dalam bioremediasi logam berat pada limbah industri, *Pseudomonas* sp. sering digunakan dalam bioremediasi limbah minyak (Rahayu, 2005).

Berdasarkan penelitian Romaidi (2016) diperoleh sembilan bakteri resisten terhadap logam vanadium yang diisolasi dari jaringan intestinal *Ascidia sydneyensis samea*, diantaranya adalah *Vibrio splendidus* strain 630, *Vibrio*

splendidus strain N08, *Vibrio splendidus* partial 16S, *Vibrio tasmaniensis* strain 007, *Vibrio tapetis* P502, *Shewanella kaireitica* strain c931, *Shewanella pasifica* strain KMM, *Shewanella olleyana* strain WA6, dan *Shewanella pasifica* strain UDC.

Salah satu bakteri yang mampu mendegradasi logam vanadium adalah *Pseudomonas isachenkovii*. Bakteri tersebut diisolasi dari usus hewan Ascidian. *Pseudomonas isachenkovii* selain resisten terhadap logam vanadium juga mampu mereduksi logam vanadium dari tingkat oksidasi +5 menjadi +4 bahkan +3 secara anaerob. Logam vanadium digunakan oleh bakteri sebagai akseptor elektron selama respirasi anaerob (Antipov *et al.*, 2000). Dalam jurnal Carpentier *et al.* (2003) menjelaskan bahwa spesies bakteri *Shewanella oneidensis* merupakan bakteri gram negatif fakultatif anaerob yang mampu mereduksi vanadium (V) menjadi vanadium (IV). Warna dari logam vanadium akan berubah sesuai dengan tingkat oksidasinya (Taroni, 2017). Warna kultur bakteri anaerobik akan menjadi biru apabila mereduksi vanadium (V) menjadi vanadium (IV) (Carpentier *et al.*, 2003).

2.5.1 Isolat Bakteri S2-4

Isolat bakteri S2-4 berasal dari pertambangan minyak bumi Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro. Berdasarkan penelitian terdahulu pengambilan sampel dilakukan di tiga titik stasiun yang berbeda. Sampel yang diambil dari limbah cair minyak bumi sebanyak 500 mL. Diambil sampel limbah cair sebanyak 20 μ L kemudian diinokulasikan pada media kultur HMC agar yang

mengandung logam vanadium (V) dengan konsentrasi 0 mM, 5 mM, dan 10 mM dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 1x24 jam (Ihsanuddin, 2018).

Isolat yang tumbuh pada media dengan kandungan logam vanadium (V) tertinggi diisolasi kembali dan dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-3} . Diambil 20 μ L dan diinokulasi pada media HMC agar yang telah diberi logam vanadium (V) dengan konsentrasi 10 mM dan dilakukan 3x ulangan. Kemudian diinkubasi selama 1x24 jam pada suhu 37°C. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh isolat bakteri murni. Dipilih 5 isolat bakteri secara acak dari masing-masing cawan petri, kemudian diinkubasi selama 1x24 jam pada suhu 37°C. Sehingga didapatkan 15 isolat bakteri (Ihsanuddin, 2018).

Masing-masing isolat yang diperoleh diberi nama S1-1, S1-2, S1-3, S1-4, S1-5, S2-1, S2-2, S2-3, S2-4, S2-5, S3-1, S3-2, S3-3, S3-4, dan S3-5. Penamaan isolat tersebut berdasarkan lokasi pengambilan sampel limbah cair minyak bumi. S1-1 memiliki arti isolat berasal dari stasiun satu dan isolat nomor satu. S2-1 memiliki arti isolat berasal dari stasiun dua dan isolat nomor satu. S3-1 memiliki arti isolat berasal dari stasiun tiga dan isolat nomor satu (Ihsanuddin, 2018).

Uji selanjutnya adalah uji resistensi dengan menggunakan metode difusi agar. Kultur bakteri disebar ke dalam cawan petri yang berisi media HMC agar secara *spread plate*. Paper disk bulat dengan diameter 0,7 mm direndam pada logam vanadium (V) dengan konsentrasi 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM. Langkah selanjutnya paper disk ditaruh ke dalam cawan petri yang berisi isolat bakteri dan kemudian diinkubasi selama 1x24 jam pada suhu 37°C. Zona hambat yang muncul diukur diameternya (Ihsanuddin, 2018). Diameter hasil zona hambat dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Diameter hasil zona hambat

Kode bakteri	Lebar rata-rata zona hambat berbagai konsentrasi dalam millimeter (mm)			
	5 mM	10 mM	15 mM	20 mM
S1-1	1,625	1,8	3,1	2,15
S1-2	1,4	0,9	1,1	1
S1-3	-	1,35	-	-
S1-4	-	3,3	-	-
S1-5	-	-	-	-
S2-1	-	-	-	-
S2-2	1,85	1	0,6	1,425
S2-3	-	-	-	-
S2-4	2,45	0,925	1,3	0,3
S2-5	1,5	3,8	1,425	1,8
S3-1	-	1,9	-	-
S3-2	-	-	-	-
S3-3	-	-	-	-
S3-4	-	-	-	-
S3-5	1,2	1,65	1,5	2,25

Hasil uji resistensi pada konsentrasi tertinggi logam vanadium (V) 20 mM, menunjukkan bahwa terdapat beberapa bakteri yang menghasilkan zona hambat di sekitar *paper disk*. Hal tersebut menunjukkan bahwa yang memiliki resistensi tertinggi adalah isolat bakteri S2-4 dengan rata-rata ukuran zona hambat 0,3 mm (Ihsanuddin, 2018). Apabila ukuran zona hambat lebih dari 1 mm maka bakteri tersebut tergolong ke dalam bakteri sensitif, apabila ukuran zona hambat kurang dari 1 mm bakteri tergolong bakteri yang resisten (Sabdon, 2009).

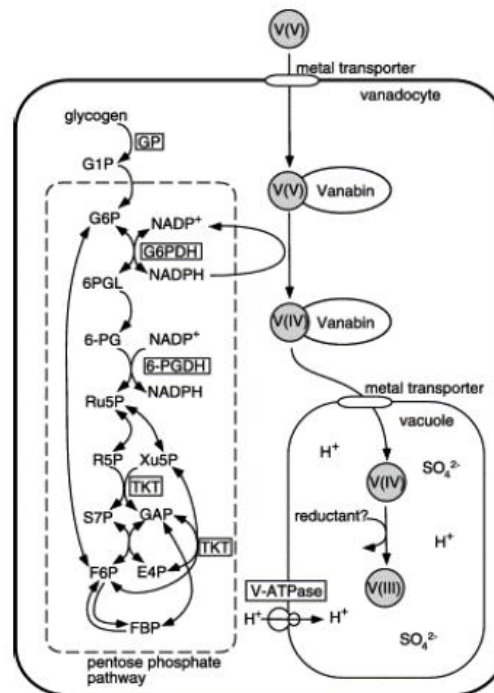
2.6 Mekanisme Bakteri Mereduksi Vanadium

Studi mikroskopis elektron sel *Pseudomonas isachenkovii* menunjukkan bahwa bakteri yang ditumbuhkan pada media yang mengandung vanadate membentuk gelombang akumulasi vanadium yang cukup besar pada permukaan membran dinding sel. Selama pertumbuhan bakteri dan reduksi vanadate, protein pengikat vanadium (vanabins) terakumulasi dalam media kultur. Sehingga warna media akan berubah menjadi biru karena mengandung vanadyl (Antipov *et al.*, 2000).

Penelitian Ortiz-bernad *et al.* (2004) menunjukkan bahwa ketika *Geobacter metallireducens* diinokulasi ke dalam media yang mengandung vanadate sebagai akseptor elektron tunggal, vanadate direduksi menjadi vanadyl dalam kondisi anaerob. Vanadate sepenuhnya ditransformasikan menjadi vanadyl, dan warna medium berubah menjadi biru, disebabkan oleh keberadaan vanadyl. Pertumbuhan sel bertepatan dengan reduksi vanadate dan berhenti saat vanadate menipis, dengan kurun waktu 15 jam.

Reduksi vanadium terjadi di dalam vanadosit (sel yang mengakumulasi vanadium). Pada jalur pentosa fosfat, terdapat enzim 6-Phosphogluconate dehydrogenase (6-PGDH) dan Glukosa-6-fosfat dehydrogenase (G6PDH). Kedua enzim tersebut menghasilkan 2 mol NADPH. Vanadium (V) masuk ke dalam vanadosit melalui transporter logam kemudian diikat oleh vanabin (protein pengikat vanadium). Vanadium (V) tersebut akan menstimulus oksidasi NADPH, sehingga vanadium (V) tereduksi menjadi vanadium (IV) dengan bantuan NADPH. Kemudian vanadium (IV) akan diikat oleh vanabin dan ditransfer ke dalam vakuola melalui transporter logam. Di dalam vakuola vanadium (IV) akan

direduksi menjadi vanadium (III) (Michibata *et al.*, 2003). Mekanisme reduksi logam vanadium dapat dilihat pada gambar 2.2.



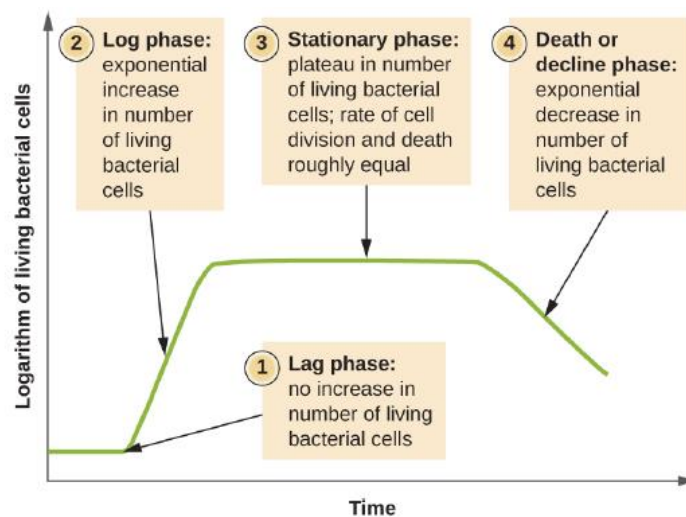
Gambar 2.2 Mekanisme reduksi vanadium (Marwijk, 2005).

2.7 Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva pertumbuhan bakteri merupakan kurva yang menunjukkan fase hidup bakteri. Fase hidup bakteri terdiri dari empat fase yaitu, fase lag, fase log, fase stasioner, dan fase kematian. Fase-fase kurva pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada gambar 2.3.

Fase awal pertumbuhan disebut fase lag, dimana sel-sel bakteri bersiap (adaptasi) untuk fase pertumbuhan selanjutnya. Apabila media pertumbuhan yang baru sama dengan media pertumbuhan yang lama, maka tidak diperlukan waktu untuk adaptasi. Namun apabila media pertumbuhan baru berbeda dengan media

pertumbuhan lama maka akan dibutuhkan waktu adaptasi serta untuk mensintesa protein-protein (Rosmania & Yanti, 2020). Selama fase lag jumlah sel bakteri tidak berubah. Pada fase lag sel lebih aktif secara metabolit, guna mensintesis protein yang dibutuhkan untuk tumbuh di dalam media pertumbuhan. Durasi fase lag ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya, jenis spesies dan susunan genetik sel, serta komposisi media pertumbuhan (Parker *et al.*, 2016).



Gambar 2.3. Kurva pertumbuhan bakteri (Parker *et al.*, 2016).

Fase kedua adalah fase logaritmik (fase log) atau biasa disebut fase eksponensial. Sel bakteri akan aktif membelah dengan pembelahan biner dan jumlahnya meningkat secara eksponensial. Pada fase logaritmik hubungan antara waktu dan jumlah sel tidak linier tetapi eksponensial. Untuk bakteri tertentu pada fase logaritmik membutuhkan nutrisi, suhu, dan pH yang spesifik. Sel-sel dalam fase log menunjukkan laju pertumbuhan yang konstan. Tahap log juga merupakan tahap bakteri yang paling rentan terhadap tindakan disinfektan dan antibiotik umum yang mempengaruhi protein, DNA, dan dinding sel (Parker *et al.*, 2016).

Fase stasioner merupakan fase pertumbuhan bakteri setelah fase logaritmik. Saat jumlah sel meningkat melalui fase log, beberapa faktor memicu laju pertumbuhan sehingga menjadi lebih lambat. Pada fase stasioner nutrisi mulai habis secara bertahap. Selain itu, kadar oksigen dalam media pertumbuhan mulai menipis. Kondisi tersebut dapat memperlambat bahkan menghambat laju pertumbuhan sel bakteri. Sehingga jumlah sel bakteri hidup setara dengan jumlah sel bakteri yang mati, dengan demikian jumlah sel hidup relatif stagnan (*Parker et al.*, 2016).

Saat nutrisi media kultur habis, sel-sel bakteri yang mati bertambah banyak. Sedangkan jumlah sel bakteri yang hidup lebih sedikit. Sehingga menyebabkan penurunan yang signifikan, fase ini dinamakan fase kematian. Pada fase ini banyak sel yang melisis dan melepaskan nutrisi ke dalam media pertumbuhan. Hal tersebut memungkinkan sel bakteri yang masih hidup untuk mempertahankan viabilitasnya dan membentuk endospora (*Parker et al.*, 2016).

2.8 Spektrofotometer

Spektrofotometer sering digunakan untuk menghitung jumlah bakteri dalam suatu larutan. Fungsi dari alat ini sebagai pengukur absorban suatu sampel yang dinyatakan dalam fungsi panjang gelombang (Rosmania & Yanti, 2020). Prinsip kerja berdasarkan penyerapan cahaya oleh suatu larutan. Jumlah cahaya atau energi radiasi yang diserap memungkinkan pengukuran jumlah zat penyerap dalam larutan secara kuantitatif. Setiap sinar memiliki spectrum gelombang elektromagnetik yang berbeda (Triyati, 1985). Panjang gelombang berdasarkan jenis sinar dan berdasarkan jenis warna dapat dilihat pada tabel 2.5 serta tabel 2.6.

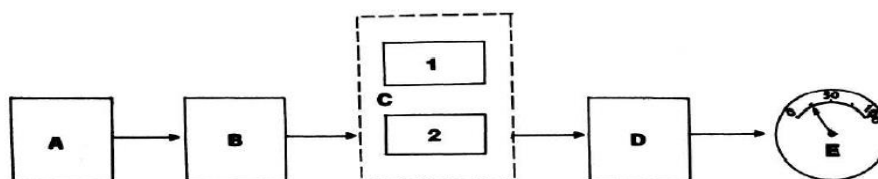
Tabel 2.5. Daerah spektrum gelombang elektromagnetik (Triyati, 1985).

Jenis sinar	Panjang gelombang
Sinar X	10-100 pkm
Ultra-violet jauh	10-200 nm
Ultra-violet dekat	200-400 nm
Cahaya tampak	400-750 nm
Infra-merah dekat	0,75-2 μ m
Infra-merah tengah	2,5-50 μ m
Infra-merah jauh	50-1000 μ m
Gelombang mikro	0,1-100 cm
Gelombang radio	1-1000 m

Prinsip kerja dari spektrofotometer suatu sumber cahaya dipancarkan melalui monokromator. Monokromator menguraikan cahaya yang masuk menjadi pita-pita dengan panjang gelombang yang sesuai dengan jenis sinar. Setelah dari monokromator, cahaya diteruskan dan diserap oleh suatu larutan yang akan diperiksa di dalam kuvet. Kemudian jumlah cahaya yang diserap oleh larutan akan menghasilkan sinyal elektrik pada detector. Sinyal elektrik tersebut sebanding dengan cahaya yang diserap oleh larutan, hasil sinyal yang diserap tersebut akan dialirkan ke pencatat dan hasilnya dapat dilihat berupa angka (Triyati, 1985). Susunan sprektrofotometer dapat dilihat pada gambar 2.4.

Tabel 2.6. Panjang gelombang warna-warna dalam daerah cahaya tampak (Triyati, 1985)

Warna	Panjang gelombang (nm)
Ungu	40-435
Biru	435-480
Biru hijau	480-490
Hijau biru	490-500
Hijau	500-560
Hijau kuning	560-580
Kuning	580-595
Oranye	595-610
Merah	610-750



Gambar 2.4. Bagan susunan spektrofotometer. A) sumber cahaya, B) monokromator, C) sel absorpsi (tempat larutan), D) detektor, E) rekorder (Triyati, 1985).

2.9 Teknik Identifikasi Bakteri

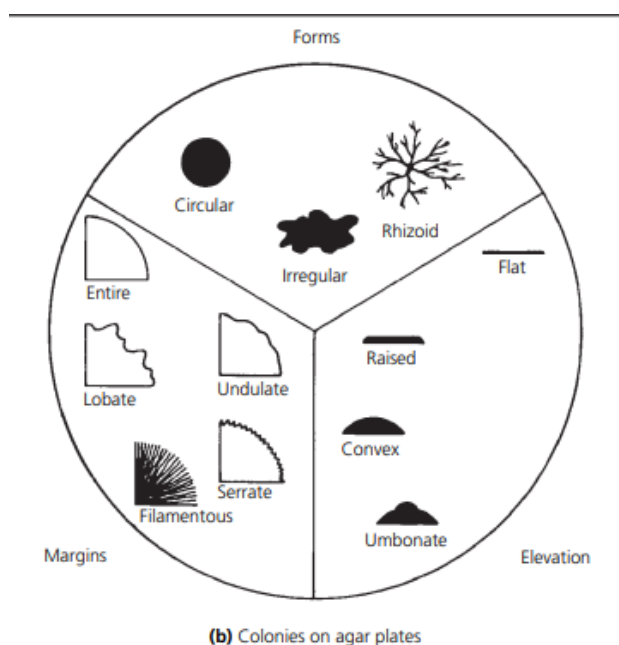
2.9.1 Identifikasi Makroskopis

Karakteristik bakteri yang tumbuh pada media agar dapat diamati secara makroskopis. Gambar karakteristik koloni bakteri dapat dilihat pada gambar 2.5.

Menurut Cappuccino & Welsh (2018), karakter makroskopis yang diamati meliputi:

- a. Bentuk koloni: sirkular (tepi peripheral, tidak terputus), *irregular* (tidak teratur), dan *rhizoid* (seperti akar, pertumbuhan menyebar).

- b. Bentuk tepi koloni: *entire* (utuh), *lobate* (berombak), *undulate* (keriting), *serrate* (bergerigi), dan *filamentous* (seperti benang dan menyebar).
- c. Permukaan koloni: *flat* (datar), *raised* (sedikit meninggi), *convex* (berbentuk kubah), dan *umbonate* (membukit).



Gambar 2.5 Karakteristik koloni bakteri (Cappuccino & Welsh, 2018).

2.9.2 Identifikasi Mikroskopis

Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan metode pewarnaan Gram. Metode pewarnaan Gram pada bakteri ditemukan oleh Hans Christian Gram pada tahun 1884. Metode ini mengelompokkan bakteri berdasarkan perbedaan tipe dinding sel. Metode pewarnaan Gram terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan pewarnaan menggunakan kristal violet, berfungsi untuk memberi warna ungu pada sel bakteri. Tahap kedua menggunakan iodine yang berfungsi untuk menstabilkan pewarna, agar kristal violet tetap menempel pada lapisan

peptidoglikan yang tebal pada dinding sel bakteri. Tahap selanjutnya yaitu menghilangkan pewarna kristal violet dengan etanol. Bakteri dengan lapisan peptidoglikan yang tebal akan tetap mempertahankan kristal violet dan berwarna ungu. Sedangkan kristal violet yang melekat pada bakteri dengan lapisan peptidoglikan tipis akan luntur. Tahap paling akhir yaitu pewarnaan ulang menggunakan safranin, fungsinya untuk memberi warna merah pada sel bakteri. Bakteri yang berwarna ungu menunjukkan bakteri Gram positif, sedangkan bakteri berwarna merah menunjukkan bakteri Gram negatif (Parker, 2009).

Struktur sel bakteri terdiri atas membran dan sitoplasma yang terbungkus dinding sel. Pada sebagian bakteri dinding sel tersebut, dibungkus oleh kapsula atau lapisan lendir. Kapsul tersebut mengandung polisakarida dan polipeptida. Fungsi dari kapsula sebagai perlindungan diri dari kondisi lingkungan yang kurang baik, seperti kurangnya nutrisi maupun suhu yang terlalu panas (Suendra, 1991).

Bakteri Gram positif mengandung peptidoglikan dengan ketebalan sekitar 20-80 nm sehingga dinding selnya lebih kaku. Pada bagian luar peptidoglikan terdapat senyawa yang disebut asam teikhoat yang mengandung alkohol (gliserol atau ribitol) dan fosfat (Pratiwi & Sylvia, 2008). Asam teikhoat berfungsi sebagai jalan keluar atau masuknya ion. Dinding sel bakteri Gram positif bersifat polar karena dapat larut dalam air. Metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, dan tanin bersifat polar, sehingga lebih mudah menembus lapisan peptidoglikan yang bersifat polar daripada lapisan lipid yang nonpolar (Pratiwi *et al.*, 2017).

Kandungan peptidoglikan pada bakteri gram negatif lebih sedikit, dengan ketebalan sekitar 5-10 nm, sehingga dinding sel bakteri Gram negatif lebih rentan

terhadap kerusakan mekanis. Pada bagian luar peptidoglikan terdapat membran luar (outer membran) yang terdiri dari lipid, polisakarida, dan rantai karbohidrat. Diantara membran luar dan membran dalam pada bakteri gram negatif terdapat daerah periplasma. Di dalam dinding sel bakteri gram negatif tidak terdapat asam teikoat (Pratiwi & Sylvia, 2008).

Bakteri gram positif memiliki daya resisten yang tinggi terhadap logam berat. Selain itu, kemampuannya dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat juga lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri gram negatif. Logam berat yang diakumulasi akan disimpan pada permukaan dinding sel. Hal tersebut disebabkan oleh struktur dinding sel bakteri gram positif yang lebih sederhana dibanding struktur dinding sel bakteri gram negatif (Nasrazadani *et al.*, 2011).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif dan eksperimental. Deskriptif kuantitatif dikarenakan hasil yang diperoleh meliputi karakteristik morfologi bakteri pereduksi vanadium dan persentase vanadium yang direduksi. Jenis eksperimental dikarenakan penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam mereduksi logam vanadium pada konsentrasi tertentu.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2020-Januari 2021. Bertempat di Laboratorium Biokimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain timbangan digital, gelas ukur, tabung erlenmeyer, cawan petri, jarum ose, spatula, *hot plate*, *laminar air flow*, inkubator, alat destruksi, mikropipet, tip biru, gelas beaker, bunsen, spuit, spektrofotometer, *shaker inkubator*, *autoklaf*, *stirer*, dan tabung reaksi.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain isolat bakteri resisten vanadium dengan kode S2-4 dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi UIN Malang, TYG Agar, TYG Broth, NaVO_3 (*sodium metavanadate*), pewarnaan cat Gram, aquades, asam fosfat, perphenazine, dan spirtus.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan Stok Vanadium (V) 100 mM

Larutan stok vanadium 100 mM dibuat dengan menimbang bubuk NaVO_3 sebanyak 1,2193 gr kemudian dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer, ditambahkan aquades sebanyak 0,1 L kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan di atas *hotplate* hingga larutan homogen.

3.4.2 Pembuatan Media TYG Agar

Pembuatan media TYG Agar (*Tryptone, Yeast extract, Glucose, Agar*) mengacu pada penelitian Van Marwijk *et al.* (2009). Ditimbang *tryptone* sebanyak 1,5 gram, *yeast* ekstrak sebanyak 0,9 gram, glukosa sebanyak 0,3 gram, dan agar sebanyak 6 gram. Bahan yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer dan dilarutkan menggunakan aquades sebanyak 0,3 L. Kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan di atas *hotplate*.

3.4.3 Pembuatan Media TYG Broth

Pembuatan media TYG Broth (*Tryptone, Yeast extract, Glucose*) mengacu pada penelitian Van Marwijk *et al.* (2009). Ditimbang *tryptone* sebanyak 2 gram,

yeast ekstrak sebanyak 1,4 gram, dan glukosa sebanyak 0,8 gram. Bahan yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer dan dilarutkan menggunakan aquades sebanyak 0,4 L. Kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan di atas *hotplate*.

3.4.4 Sterilisasi Alat dan Bahan

Dibungkus alat yang digunakan menggunakan kertas kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan diikat. Untuk media dan larutan stok vanadium yang telah disimpan di dalam tabung Erlenmeyer dibungkus plastik lalu diikat. Kemudian alat dan bahan dimasukkan ke dalam autoklaf dengan menggunakan suhu 121°C selama 1 menit dengan tekanan 1 atm.

3.4.5 Peremajaan Isolat Bakteri Resisten Vanadium

Diremajakan isolat bakteri resisten vanadium dengan kode S2-4 dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi UIN Malang yang berasal dari pertambangan minyak Wonocolo pada media TYG Agar dengan konsentrasi NaVO_3 yang berbeda (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM). Diinkubasi isolat bakteri yang telah diinokulasi pada media TYG Agar selama 1x24 jam pada suhu 37°C (Van Marwijk *et al.*, 2009). Bakteri yang tumbuh kemudian diidentifikasi secara makroskopis, mikroskopis, dan diuji kemampuan reduksinya dalam media cair.

3.4.6 Identifikasi Morfologi Bakteri Resisten Logam Vanadium

Identifikasi morfologi dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Identifikasi makroskopis dilakukan secara langsung dengan mengamati bentuk koloni, tepi koloni, dan permukaan koloni (Cappuccino & Welsh, 2018).

Menurut Parker *et al.* (2016), identifikasi mikroskopis dilakukan melalui pewarna cat Gram dengan mengambil isolat bakteri terpilih sebanyak satu koloni kemudian diletakkan pada objek glass yang telah ditetesi aquades, kemudian difiksasi hingga kering. Preparat ditetesi larutan kristal violet dan didiamkan selama satu menit kemudian dicuci dengan aquades. Langkah berikutnya ditetesi iodin dan didiamkan selama satu menit kemudian dicuci dengan aquades. Kemudian ditetesi alkohol 96%, setelah itu ditetaskan safranin dan ditunggu selama satu menit dan dicuci kembali dengan aquades kemudian dikeringkan. Kemudian preparat diamati menggunakan mikroskop. Apabila bakteri tersebut Gram negatif maka akan berwarna merah, jika bakteri tersebut Gram positif maka akan berwarna ungu.

3.4.7 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva pertumbuhan bakteri dibuat dengan cara mengukur *optical density* (OD) setiap 2 jam sekali hingga diperoleh empat fase pertumbuhan bakteri yaitu selama 30 jam. Bakteri sebanyak 1 mL diinokulasi ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 mL media TYG Broth dengan konsentrasi logam vanadium bertingkat (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM). Kemudian dishaker inkubator dengan kecepatan 200 rpm dan suhu 37°C, diambil sampel sebanyak 1 mL dan diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang (λ) 600 nm. Larutan

standar yang digunakan adalah media TYG Broth dengan konsentrasi logam vanadium bertingkat (Marwijk, 2005).

3.4.8 Uji Bakteri Pereduksi Logam Vanadium

Pengujian reduksi vanadium mengacu pada penelitian Van Marwijk *et al.* (2009) dan Mohamed & El-Shahat (2000). Diambil bakteri yang resisten terhadap logam vanadium sebanyak 1 mL. Kemudian bakteri diinokulasi ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 mL media TYG Broth dengan konsentrasi logam vanadium bertingkat (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM). Dishaker menggunakan shaker inkubator dengan suhu 37°C dan kecepatan 200 rpm. Diambil sampel sebanyak 5 mL kemudian disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4500 rpm. Kemudian diambil supernatan sebanyak 750 µL, ditambahkan asam fosfat sebanyak 500 µL, dan pterphenazine sebanyak 125 µL kemudian dihomogenkan. Langkah selanjutnya diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang yang sebesar 526 nm. Sampel dengan konsentrasi logam vanadium bertingkat (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM) diukur ketika awal fase log (jam ke-2) dan pada akhir fase log (jam ke-12).

Persentase reduksi logam vanadium dihitung menggunakan rumus (Gan *et al.*, 2020):

$$\% = \frac{a}{b} \times 100\%$$

Keterangan: a: jumlah vanadium tereduksi

b: jumlah vanadium awal

3.4.9 Analisis Data

Data hasil pengukuran kurva pertumbuhan bakteri dan uji reduksi diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Analisis integrasi Sains dan Islam dilakukan menggunakan kajian keislaman yang berkaitan dengan penelitian yang mengacu pada Al-Qur'an dan Al-Hadist.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

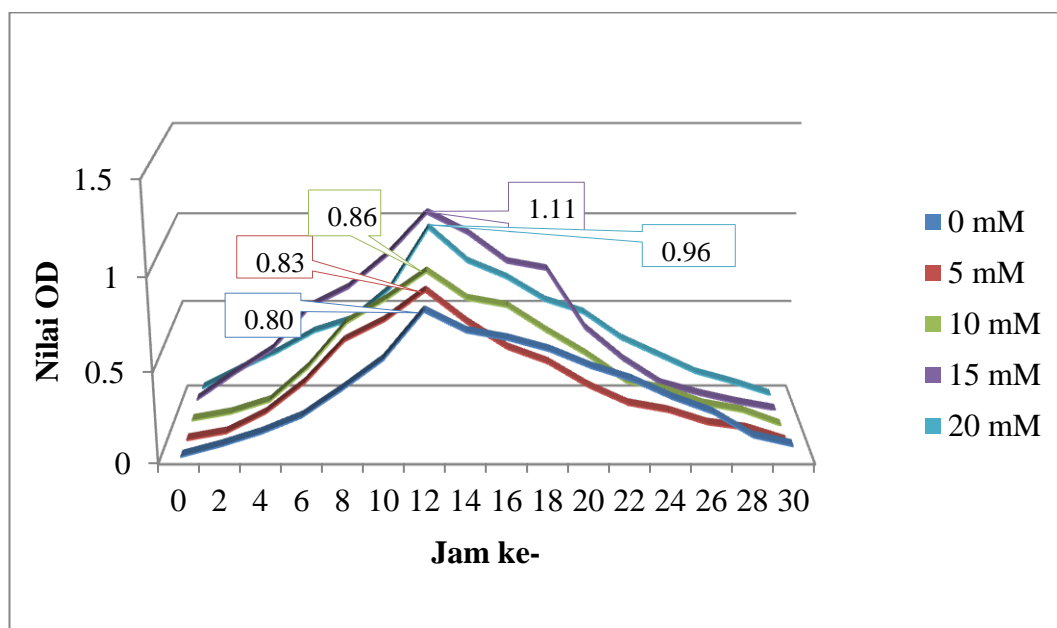
4.1 Kemampuan Isolat Bakteri S2-4 dari Pertambangan Minyak Wonocolo dalam Mereduksi Logam Vanadium

4.1.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kurva pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui waktu pertumbuhan bakteri yang optimum. Menurut Parker *et al.* (2016) terdapat empat fase pertumbuhan bakteri yaitu, fase adaptasi (*lag phase*), fase eksponensial (*log phase*), fase stasioner, dan fase kematian. Pengamatan kurva pertumbuhan bakteri pada media TYG Broth dilakukan selama 30 jam dengan selang waktu 2 jam. Pada pengamatan kurva pertumbuhan bakteri digunakan panjang gelombang sebesar 600 nm. Media standar yang digunakan adalah TYG Broth dengan konsentrasi logam vanadium (V) yang berbeda. Isolat bakteri yang diukur kurva pertumbuhannya adalah isolat bakteri yang diketahui resisten terhadap logam vanadium (V) pada penelitian sebelumnya, yaitu bakteri dengan kode isolat S2-4. Kurva pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada gambar 4.1.

Hasil grafik kurva pertumbuhan bakteri menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi logam yang diberikan pada media tumbuh maka pertumbuhan bakteri akan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari nilai absorbansinya, semakin besar konsentrasi logam yang diberikan pada media tumbuh maka nilai absorbansinya akan semakin meningkat. Berdasarkan hasil penelitian Van Marwijk *et al.* (2009) penambahan logam vanadium (V) pada media cair bakteri yang diisolasi dari tambang emas mampu mempengaruhi dan

meningkatkan pertumbuhan bakteri. Menurut Hindersah *et al.* (2009) penambahan logam berat kadmium akan meningkatkan pertumbuhan bakteri. Selain itu, hasil penelitian Hindersah & Kamaluddin (2014) menunjukkan bahwa penambahan logam timbal pada media kultur *Azetobacter sp.* akan meningkatkan kepadatan selnya.



Gambar 4.1. Grafik kurva pertumbuhan bakteri isolat S2-4.

Berdasarkan hasil pengamatan kurva pertumbuhan bakteri, tidak diperoleh fase lag (fase adaptasi) pada semua konsentrasi (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM) logam vanadium (V). Hal ini dikarenakan media yang digunakan sebelumnya dan pada saat pengukuran kurva pertumbuhan bakteri sama yaitu media TYG. Menurut Rosmania & Yanti (2020) apabila media pertumbuhan baru dan media pertumbuhan lama yang digunakan adalah sama maka bakteri tidak memerlukan waktu adaptasi.

Fase eksponensial (fase logaritmik) pada konsentrasi logam vanadium (V) 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM dimulai pada jam ke-2. Nilai OD pada masing-masing sampel dengan konsentrasi logam vanadium (V) 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM bervariasi. Nilai OD pada konsentrasi 0 mM sebesar 0,07; pada konsentrasi 5 mM nilai OD sebesar 0,05. Nilai OD pada konsentrasi 10 mM sebesar 0,07. Pada konsentrasi logam vanadium 15 mM nilai OD sebesar 0,21. Pada konsentrasi logam vanadium 20 mM nilai OD sebesar 0,15. Menurut Parker *et al.* (2016) pada fase eksponensial sel bakteri melakukan proses fisiologis sehingga terjadi pembelahan biner dan terjadi peningkatan jumlah sel bakteri.

Nilai OD maksimum bisa disebut sebagai awal fase stasioner, karena pada fase tersebut sudah tidak terjadi pembelahan sel bakteri sehingga nilai OD tidak bertambah. Fase stasioner pada konsentrasi 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM terjadi pada jam ke-12. Nilai OD pada konsentrasi 0 mM sebesar 0,80; 5 mM sebesar 0,83; 10 mM sebesar 0,86; 15 mM sebesar 1,11; dan nilai OD pada konsentrasi 20 mM sebesar 0,96. Berdasarkan hasil tersebut nilai OD tertinggi terdapat pada sampel dengan konsentrasi 15 mM. Hal tersebut dapat disebabkan karena pertumbuhan optimum bakteri terdapat pada konsentrasi 15 mM dan pada konsentrasi 20 mM pertumbuhan bakteri mulai terhambat sehingga terjadi penurunan nilai OD. Sehingga dimungkinkan batas toleransi isolat bakteri S2-4 terhadap logam vanadium sebesar 15 mM. Berdasarkan penjelasan Carpentier *et al.* (2003) bakteri *Shewanella oneidensis* memiliki batas toleransi logam vanadium (V) sebesar 10 mM. Hasil penelitian Kamika & Momba (2014) menyatakan bahwa bakteri *Marinobacter* sp. yang diisolasi dari limbah cair tambang memiliki ambang batas toleran logam vanadium (V) sebesar 13 mM.

Perbedaan kemampuan toleransi terhadap logam dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Menurut Nasrazadani *et al.* (2011) banyaknya kadar logam berat pada lingkungan akan membuat bakteri lebih resisten.

Menurut Parker *et al.* (2016) pada fase stasioner nutrisi habis secara bertahap serta kadar oksigen dalam media pertumbuhan mulai menipis. Kondisi tersebut dapat memperlambat bahkan menghambat laju pertumbuhan sel bakteri. Sehingga jumlah sel bakteri hidup setara dengan jumlah sel bakteri yang mati, dengan demikian jumlah sel hidup relatif stagnan. Berdasarkan penjelasan Riedel *et al.* (2019) bahwa pada fase stasioner terjadi penumpukan racun dari hasil metabolit sel bakteri, sehingga sel bakteri yang hidup dan yang mati berjalan seimbang.

Terjadinya penurunan nilai OD merupakan awal dari fase kematian. Pada fase ini jumlah sel bakteri yang hidup semakin sedikit. Menurut Pelczar & Chan (2008) pada fase ini jumlah sel bakteri yang mati lebih banyak daripada jumlah sel bakteri yang hidup. Menurut Parker *et al.* (2016) pada fase kematian nutrisi pada media tumbuh sudah habis sehingga banyak sel bakteri yang melisis dan melepaskan nutrisi ke dalam media pertumbuhan. Hal tersebut memungkinkan sel bakteri yang masih hidup untuk mempertahankan viabilitasnya dan membentuk endospora.

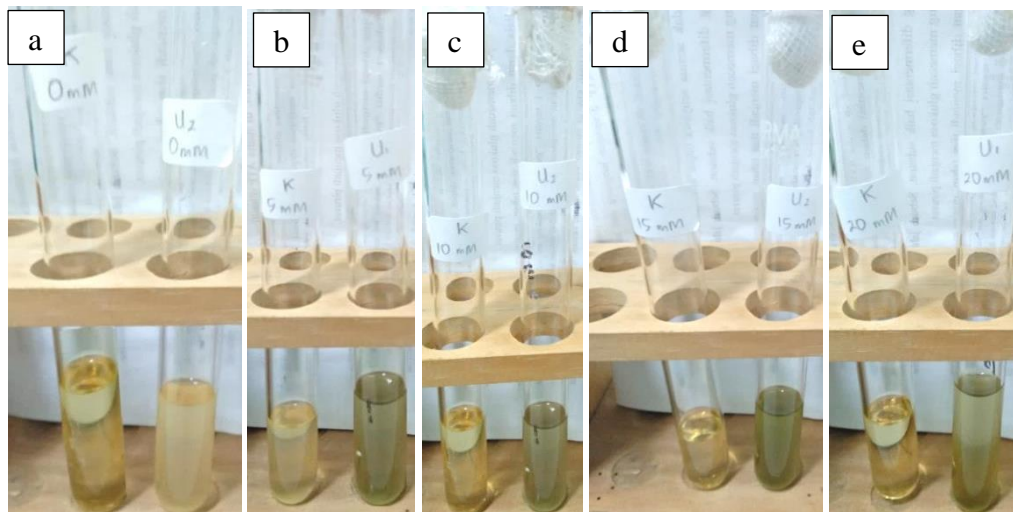
4.1.2 Uji Reduksi Vanadium oleh Isolat Bakteri S2-4

Uji reduksi vanadium dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri tersebut dalam mereduksi logam vanadium. Menurut Rehder (2016) reduksi merupakan suatu reaksi yang mengalami penurunan bilangan oksidasi. Isolat

bakteri yang digunakan dalam uji reduksi adalah isolat bakteri S2-4, hal ini dikarenakan isolat tersebut telah terbukti resisten terhadap logam vanadium (V) pada penelitian sebelumnya. Pengukuran uji reduksi dilakukan ketika diawal fase eksponensial (jam ke-2) dan diakhir fase eksponensial (jam ke-12). Dalam uji ini ditambahkan larutan asam fosfat dan perphenazine. Menurut Mohamed & El-Shahat (2000) asam fosfat dan perphenazine digunakan sebagai indikator pengukuran logam vanadium. Ketika terjadi oksidasi maka zat perphenazine akan memberikan warna merah. Intensitas dan stabilitas warna merah ini tergantung pada sifat dan konsentrasi asam yang digunakan, untuk itu digunakan asam fosfat agar intensitas dan stabilitas warna menjadi maksimum.

Logam vanadium yang digunakan merupakan logam vanadium yang memiliki bilangan oksidasi +5. Kemampuan isolat bakteri S2-4 dalam mereduksi logam vanadium (V) ditandai dengan adanya perubahan warna pada media dari kuning menjadi biru-kehijauan. Hal tersebut menandakan bahwa bakteri telah mereduksi logam vanadium (V) menjadi vanadium (IV). Pada konsentrasi 0 mM warna tidak berubah menjadi biru-kehijauan dikarenakan pada media tumbuh tidak terdapat logam vanadium, sehingga tidak terjadi proses reduksi. Menurut (Barceloux, 1999) keadaan oksidasi logam vanadium paling stabil ketika berada pada bilangan oksidasi +4, sehingga logam vanadium (IV) tidak mudah mengalami kenaikan maupun penurunan bilangan oksidasi. Berdasarkan penelitian reduksi vanadium yang dilakukan oleh Marwijk (2005) reduksi vanadium terjadi dalam kondisi anaerob dan disertai dengan perubahan warna pada media menjadi biru-kehijauan yang menunjukkan terjadinya reduksi

vanadium (V) menjadi vanadium (IV) oleh bakteri. Perubahan warna pada media menjadi biru-kehijauan dapat dilihat pada gambar 4.2.



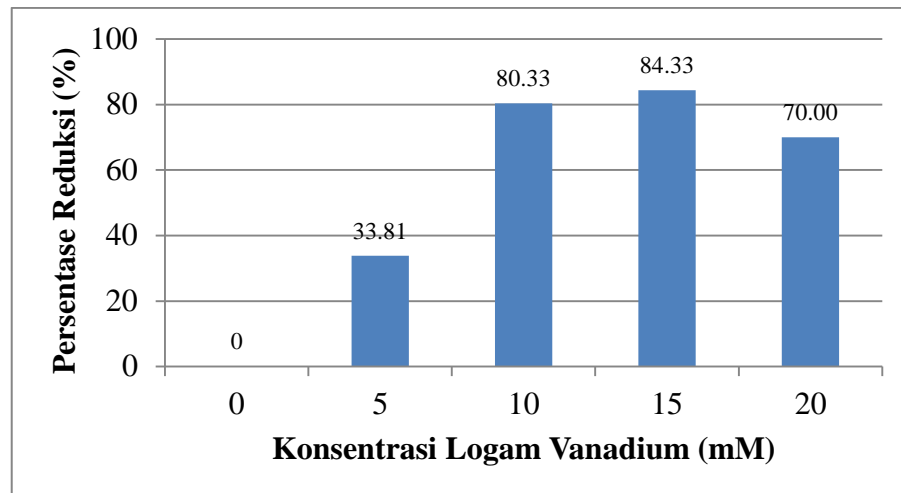
Gambar 4.2. Perubahan warna pada media tumbuh bakteri, **a)** konsentrasi 0 mM, **b)** konsentrasi 5 mM **c)** konsentrasi 10 mM **d)** konsentrasi 15 mM **e)** konsentrasi 20 mM (tabung sebelah kiri merupakan kontrol setiap perlakuan).

Hasil penelitian uji reduksi vanadium menunjukkan kemampuan reduksi vanadium oleh isolat S2-4 berbeda-beda setiap konsentrasinya (gambar 4.3). Pada konsentrasi 0 mM tidak terdapat logam vanadium pada media tumbuh, sehingga tidak terjadi proses reduksi. Pada konsentrasi 5 mM bakteri mampu mereduksi logam vanadium sebesar 33,81%. Pada konsentrasi 10 mM bakteri mampu mereduksi logam vanadium sebesar 80,33%. Pada konsentrasi 15 mM bakteri mampu mereduksi logam vanadium sebesar 84,33%. Pada konsentrasi 20 mM terjadi penurunan kemampuan reduksi oleh isolat bakteri S2-4. Tetapi bakteri tersebut mampu mereduksi logam vanadium sebesar 70,00%. Terjadinya penurunan tersebut dimungkinkan karena batas toleransi isolat bakteri S2-4

terhadap logam vanadium sebesar 15 mM. Kemampuan toleransi suatu bakteri terhadap logam dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Menurut Nasrazadani *et al.* (2011) banyaknya kadar logam berat pada lingkungan asal akan membuat bakteri lebih resisten. Semakin banyak kadar logam berat di lingkungan asal maka akan semakin tinggi pula kemampuan resistensinya.

Kemampuan isolat bakteri S2-4 dalam mereduksi vanadium mencapai 84,33% hal tersebut diduga karena kadar logam vanadium pada limbah tambang Wonocolo sebesar 325,48 μM (0,326 mM). Berdasarkan hasil penelitian Marwijk (2005) bakteri yang diisolasi dari limbah tambang emas mampu mereduksi logam vanadium (V) sebesar 10% hingga 80%, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh lingkungan asalnya. Semakin banyak kadar logam vanadium pada lingkungan asalnya maka kemampuan bakteri tersebut dalam mereduksi logam vanadium akan semakin besar. Hasil penelitian Wang *et al.* (2017) menjelaskan bahwa bakteri *Shewanella loihica* PV-4 mampu mereduksi logam vanadium (V) dengan persentase sebesar 71,3%.

Waktu aktif enzim 6-PGDH dan G6PDH terjadi pada saat fase logaritmik berlangsung hal tersebut juga dipicu oleh adanya logam pada lingkungan hidup bakteri (Matilda *et al.*, 2019). Kedua enzim tersebut akan menghasilkan 2 mol NADPH. Vanadium (V) masuk ke dalam vanadosit (sel pengakumulasi vanadium) melalui transporter logam kemudian diikat oleh vanabin (protein pengikat vanadium). Kemudian vanadium (V) tereduksi menjadi vanadium (IV) dengan bantuan NADPH. Kemudian vanadium (IV) akan diikat oleh vanabin dan direduksi menjadi vanadium (III) (Michibata *et al.*, 2003).



Gambar 4.3. Diagram reduksi vanadium oleh isolat bakteri S2-4.

4.2 Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri S2-4 dari Pertambangan Minyak Wonocolo

4.2.1 Identifikasi Makroskopis

Pengamatan makroskopis dilakukan pada isolat bakteri yang resisten yaitu isolat dengan kode S2-4. Isolat bakteri tersebut ditumbuhkan pada media padat TYG dengan konsentrasi logam vanadium 0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM. Pengamatan makroskopis dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung pada cawan petri. Identifikasi makroskopis ditinjau dari beberapa aspek diantaranya yaitu bentuk koloni, permukaan koloni, tepi koloni, dan warna koloni. Hasil dari pengamatan makroskopis menunjukkan bahwa isolat bakteri S2-4 memiliki bentuk koloni *irregular*, permukaan *raised*, dan bentuk tepi *entire*. Hasil pengamatan makroskopis dapat dilihat pada gambar 4.4. Isolat bakteri yang diamati secara makroskopis kemudian diamati secara mikroskopis dengan menggunakan pewarnaan cat Gram. Menurut Sousa *et al.* (2013) setiap spesies bakteri memiliki ciri khas bentuk koloni yang berbeda-beda. Namun lingkungan pertumbuhan bakteri, seperti nutrisi dan suhu juga menentukan karakteristik

bakteri tersebut. Akan tetapi menurut Puchkov (2016) karakteristik morfologi tidak bisa menjadi satu-satunya parameter yang digunakan untuk identifikasi suatu mikroorganisme.

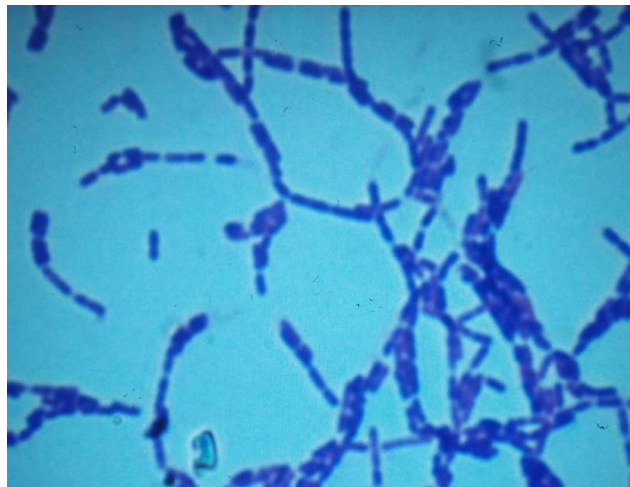


Gambar 4.4 Hasil pengamatan makroskopis isolat bakteri S2-4

4.2.2 Pengamatan Gram Bakteri

Pengamatan Gram bakteri dilakukan dengan memberi pewarna cat Gram pada isolat bakteri. Tujuan dari pewarnaan Gram untuk mengetahui jenis bakteri apakah Gram positif atau Gram negatif. Menurut Parker *et al.* (2016) bakteri yang berwarna ungu menunjukkan bakteri Gram positif sedangkan bakteri berwarna merah menunjukkan bakteri Gram negatif. Berdasarkan hasil pengamatan pewarnaan cat Gram dengan perbesaran mikroskop 1000X diperoleh hasil isolat S2-4 merupakan bakteri Gram positif dengan bentuk sel batang (basil). Hasil pewarnaan Gram dapat dilihat pada gambar 4.5.

Bakteri yang resisten terhadap logam berat antara lain adalah bakteri basil Gram positif, kokus Gram positif, basil Gram negatif, dan kokus Gram negatif. Bakteri Gram positif memiliki daya resistensi yang tinggi terhadap logam berat karena kemampuannya menyerap dan menahan logam berat pada dinding sel. Bakteri Gram positif memiliki struktur dinding sel yang lebih sederhana dan kurang selektif terhadap material eksternal. Kontak jangka panjang dengan logam berat dan banyaknya kadar logam akan membuat bakteri lebih resisten. Sebaliknya bakteri Gram negatif memiliki struktur dinding sel yang lebih rumit sehingga menyebabkan dinding sel lebih selektif terhadap logam berat (Nasrazadani *et al.*, 2011).



Gambar 4.5 Cat Gram isolat S2-4 dengan perbesaran 1000X.

4.3 Integrasi Sains dan Islam

Terjadinya pencemaran di tambang minyak Wonocolo terjadi akibat dari ulah manusia yang mengeksploitasi minyak di sana. Sehingga limbah logam berat yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan menyebabkan pencemaran

lingkungan. Al-Qur'an telah menjelaskan dalam surat Al-A'rof ayat 56 bahwa manusia dilarang merusak bumi. Dalam ayat tersebut, manusia yang merupakan makhluk ciptaan Allah seharusnya bertanggung jawab untuk menjaga bumi dan tidak berbuat kerusakan di muka bumi.

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.*

Menurut tafsir *Al-Misbah* Allah telah menciptakan alam raya dengan keadaan yang seimbang dan menyediakan semua kebutuhan makhluknya. Sehingga kita sebagai manusia seharusnya menjaga dan tidak berbuat kerusakan di bumi. Salah satu contoh kegiatan yang merusak bumi yaitu kegiatan penambangan dan cara pembuangan limbah yang kurang tepat, sehingga menyebabkan residu logam berat. Dampak dari residu logam berat tidak hanya berakibat buruk kepada manusia, tetapi juga terhadap makhluk hidup yang lainnya. Sehingga pada akhir ayat diperintahkan untuk berdo'a agar Allah memberi rahmat.

Allah SWT berfirman dalam QS. Ali-Imran ayat 190-191 yang berbunyi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا
وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: *“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk*

atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka.”

Menurut tafsir *Al-Misbah* ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan alam semesta sebagai tanda-tanda kebesaran Allah bagi orang yang berakal. Orang yang berakal adalah orang yang selalu mengingat Allah SWT dalam keadaan apapun dan mereka yang berfikir tentang penciptaan langit dan bumi, serta berbagai kejadian yang ada di alam semesta. Sehingga pada akhir ayat dijelaskan bahwa Allah tidak menciptakan segala sesuatu dengan sia-sia. Salah satunya adalah Allah menciptakan mikroorganisme yang berguna untuk lingkungan.

Perilaku menjaga lingkungan merupakan suatu contoh dari perbuatan amal saleh. Allah SWT berfirman dalam QS. Al-Baqarah ayat 82 yang berbunyi:

وَالَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ أُولَٰئِكَ أَصْحَابُ الْجَنَّةِ ۖ هُمْ فِيهَا خَالِدُونَ

Artinya: *“Dan orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan, mereka itu penghuni surga. Mereka kekal di dalamnya.”*

Berdasarkan penjelasan tafsir *Al-Misbah* perbuatan amal saleh adalah segala perbuatan baik yang dilandasi dengan iman. Salah satu contohnya dengan menjaga lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa isolat bakteri S2-4 yang mampu mereduksi logam vanadium hingga 84,33%. Sehingga bakteri tersebut dapat digunakan sebagai agen bioremediasi logam vanadium.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Isolat bakteri S2-4 mampu mereduksi vanadium (V) menjadi vanadium (IV) yang ditandai dengan adanya perubahan pada media cair dari kuning menjadi biru-kehijauan. Kemampuan mereduksi logam vanadium paling tinggi terdapat pada konsentrasi 15 mM dengan persentase sebesar 84,33%.
2. Hasil pengamatan karakteristik makroskopis menunjukkan bahwa isolat S2-4 memiliki bentuk koloni *irregular*, permukaan *raised*, dan bentuk tepi *entire*. Sedangkan hasil pengamatan mikroskopis isolat bakteri S2-4 merupakan bakteri basil Gram positif.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan identifikasi molekuler. Selain itu juga dilakukan uji reduksi logam vanadium dengan menambahkan variasi pH dan suhu bakteri agar diketahui pertumbuhan optimalnya sehingga dapat digunakan secara aplikatif dalam pencemaran logam vanadium di lingkungan secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H. Ab. J., Tamilselvi, M., Akram, A. S., Arshan, M. L. K., & Sivakumar, V. 2015. Comparative Study on Bioremediation of Heavy Metals by Solitary Ascidian, *Phallusia nigra*, Between Thoothukudi and Vizhinjam Ports of India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 93–99.
- Antipov, A. N., Lyalikova, N. N., & Nikolay, P. L. 2000. Vanadium-Binding Protein Excreted by Vanadate-Reducing Bacteria. *IUBMB Life*, 49, 137–141.
- Assem, F. L., & Levy, L. S. 2009. A Review of Current Toxicological Concerns on Vanadium Pentoxide and Other Vanadium Compounds: Gaps in Knowledge and Directions for Future Research. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 12(4), 289–306.
- Barceloux, D. G. 1999. Vanadium. *Clinical Toxicology*, 37(2), 265–278.
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. 2018. *Microbiology, A Laboratory Manual* (11th ed.). Harlow: Pearson.
- Carpentier, W., Sandra, K., Smet, I. De, Brige, A., Smet, L. De, & Beeumen, J. Van. 2003. Microbial Reduction and Precipitation of Vanadium by *Shewanella oneidensis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(6), 3636–3639.
- Dinas Lingkungan Hidup. 2020. *Ciri-ciri Air yang Tercemar*. Semarang: DLH Semarang.
- Domingo, J. L., & Gómez, M. 2016. Vanadium Compounds for the Treatment of Human Diabetes Mellitus: A Scientific Curiosity? A Review of Thirty Years of Research. *Food and Chemical Toxicology*, 95, 137–141.
- Gan, C., Chen, T., & Yang, J. 2020. Remediation of Vanadium Contaminated Soil by Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Combined with Vanadium-Resistant Bacterial Strain. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101090.
- Handrianto, P., Rahayu, Y. S., & Yuliani. 2012. Teknologi Bioremediasi dalam Mengatasi Tanah Tercemar Hidrokarbon. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*, 978–979.
- Hindersah, R., Arief, D. H., & Soemitro, S. 2009. Pengaruh $CdCl_2$ terhadap Produksi Eksopolisakarida dan Daya Hidup Azotobacter. *Jurnal Natur Indonesia*, 12(1), 34–37.
- Hindersah, R., & Kamaluddin, N. N. 2014. Pengaruh Timbal terhadap Kepadatan Sel dan Kadar Eksopolisakarida Kultur Cair. *Bionatura*, 16(1), 1–5.
- Ihsan, Y. N., Aprodita, A., Rustikawati, I., & Pribadi, T. D. K. 2015. Kemampuan *Gracilaria* sp. Sebagai Agen Bioremediasi dalam Menyerap Logam Berat Pb. *Jurnal Kelautan*, 8(1), 10–18.

- Ihsanuddin, M. 2018. *Potensi Bakteri Resisten Vanadium (V) dari Limbah Cair Tambang Minyak Wonocolo Sebagai Bioakumulator Vanadium (V)*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Jurdilla, P., Azizah, N., Wati, A. F., & Erwan, E. Y. 2019. Industri Pengolahan Minyak Bumi di Indonesia. *Jurnal Kimia*, 5(99).
- Kamika, I., & Momba, M. N. B. 2014. Microbial Diversity of Emalahleni Mine Water in South Africa and Tolerance Ability of the Predominant Organism to Vanadium and Nickel. *PLoS ONE*, 9(1).
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2011. *Baku Mutu Limbah Air Usaha Eksplorasi dan Eksploitasi*.
- Khatun, M., Bera, P., Mitra, D., Mandal, A., & Samanta, A. 2012. Estimation of Heavy Metal Tolerance and Antibiotic Susceptibility of *Bacillus cereus* Isolated from Municipal Solid Waste. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(4), 819–829.
- Korbecki, J., Baranowska-Bosiacka, I., Gutowska, I., & Chlubek, D. 2012. Biochemical and Medical Importance of Vanadium Compounds. *Acta Biochimica Polonica*, 59(2), 195–200.
- Korbecki, J., Baranowska-Bosiacka, I., Gutowska, I., Piotrowska, K., & Chlubek, D. 2015. Cyclooxygenase-1 as the Main Source of Proinflammatory Factors After Sodium Orthovanadate Treatment. *Biological Trace Element Research*, 163(1–2), 103–111.
- Kurniawan, A., & Ekowati, N. 2016. Review: Mikoremediasi Logam Berat. *Bioteknologi Dan Biosains Indonesia*, 3(1), 36–45.
- Lide, D. R. 2001. *Handbook of Chemistry and Physics* (82nd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Marwijk, J. Van. 2005. Vanadium Reduction by Bacterial Isolates from South African Mines. *Biotechnology Letters*, 1(3).
- Matilda, C. S., Mannully, S. T., Viditha, R. P., & Shanthi, C. (2019). Protein Profiling of Metal-Resistant *Bacillus cereus* VITSH1. *Journal of Applied Microbiology*, 127, 121–133.
- Michibata, H., Yamaguchi, N., Uyama, T., & Ueki, T. 2003. *Molecular Biological Approaches to the Accumulation and Reduction of Vanadium by Ascidians*. 237, 41–51.
- Mohamed, A. A., & El-Shahat, M. F. 2000. A Spectrophotometric Determination of Chromium and Vanadium. *Analytical Sciences*, 16(2), 151–155.
- Mulyani, A., & Rijal, M. 2018. Industrialisasi, Pencemaran Lingkungan dan Perubahan Struktur Kesehatan Masyarakat. *Jurnal Biology Science and Education*, 7(2), 178.

- Nasrazadani, A., Tahmourespour, A., & Hoodaji, M. 2011. Determination of Bacteria Resistance Threshold to Lead, Zinc and Cadmium in three Industrial Wastewater Samples. *Journal of Environmental Studies*, 36(56), 25–27.
- Nedrich, S. M., Chappaz, A., Hudson, M. L., Brown, S. S., & Burton, G. A. 2018. Biogeochemical Controls on the Speciation and Aquatic Toxicity of Vanadium and Other Metals in Sediments from a River Reservoir. *Science of the Total Environment*, 612, 313–320.
- Ortiz-bernad, I., Anderson, R. T., Vrionis, H. A., & Lovley, D. R. 2004. Vanadium Respiration by *Geobacter metallireducens* : Novel Strategy for In Situ Removal of Vanadium from Groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(5), 3091–3095.
- Owamah, H. I. 2013. Heavy Metals Determination and Assessment in a Petroleum Impacted River in the Niger Delta Region of Nigeria. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 4(1), 1–4.
- Parker, N., Schneegurt, M., Tu, A.-H. T., Forster, B. M., & Lister, P. 2016. *Microbiology*. Texas: OpenStax.
- Pelczar, M.J., & Chan, E.C.S. 2008. *Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 1*. Jakarta: UI Press.
- Pessoa, J. C., Etcheverry, S., & Gambino, D. 2014. Vanadium Compounds in Medicine. *Coordination Chemistry Reviews*, 301–302, 24–48.
- Pratiwi, D., Setyawati, T.R., dan Yanti, A.H. 2017. Komposisi Mikroalga di Sungai Mentuka Kabupaten Sekadau. *Jurnal Probiot*, 6(3), 102-107.
- Pratiwi dan Sylvia, T. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Jakarta: Erlangga.
- Priadie, B. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38.
- Puchkov, E. 2016. Image Analysis in Microbiology: A Review. *Journal of Computer and Communications*, 4(15), 8–32.
- Radhalakshimi, R., Sivakumar, V., & Ali, H. A. J. 2014. Analysis of Selected Species of Ascidians as Bioindicators of Metals in Marine Ecosystem. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(8), 755–764.
- Rahayu, S. P. 2005. Peranan Mikroorganisme dalam Bioremediasi Tanah yang Tercemar Logam Berat dari Limbah Industri. *Bulletin Penelitian*, 27(2).
- Rehder, D. 2016. Perspectives for Vanadium in Health Issues. *Future Medicinal Chemistry*, 8(3), 643.
- Riedel, S., Morse, S. A., Mietzner, T., & Miller, S. 2019. *Jawetz, Melnick, & Adelberg's Medical Microbiology* (28th ed.). New York: Mc Graw Hill

Education.

- Romaidi, & Ueki, T. 2016. Bioaccumulation of Vanadium by Vanadium-Resistant Bacteria Isolated from the Intestine of *Ascidia sydneiensis-samea*. *Marine Biotechnology*, 18(3), 359–371.
- Rosmania, & Yanti, F. 2020. Perhitungan Jumlah Bakteri di Laboratorium Mikrobiologi Menggunakan Pengembangan Metode Spektrofotometri. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(2), 76–78.
- Sabdono, A. 2009. Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Simbion Karang *Goniastrea aspera* Resisten terhadap Logam Berat Copper (Cu) dari P. Panjang, Jepara. *Ilmu Kelautan*, 14(3), 117–125.
- Salaki, C. L. 2011. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Indigenus (*Bacillus Cereus* FRANK .) Sebagai Agensia Pengendali Hayati Hama Kubis. *Eugenia*, 17(1), 10–15.
- Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir Al-Misbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siaka, I. M., Suastuti, N. G. A. M. D. A., & Mahendra, I. P. B. 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Air Laut, Sedimen, dan Rumpun Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*, 10(2), 190–196.
- Sousa, A. M., Machado, I., Nicolau, A., & Pereira, M. O. 2013. Improvements on Colony Morphology Identification Towards Bacterial Profiling. *Journal of Microbiological Methods*, 95(3), 327–335.
- Srinivas, T. 2008. *Environmental Biotechnology*. New Delhi: New Age International Publisher.
- SKK Migas. 2016. *Laporan Tahunan*. Jakarta: HUPMAS
- Suendra. 1991. *Buku Pedoman Mata Ajaran Mikrobiologi Lingkungan*. Jakarta: Pusat Pendidikan Tenaga Kesehatan Depkes RI.
- Sugiyono, A., Ali, H. Ab. J., & Wahid, L. M. A. 2016. Pengembangan Energi Baru Terbarukan untuk Mendukung Industri Hijau. In *Outlook Energi Indonesia* (Issue January 2018). Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Suryani, Y. 2011. Bioremediasi Limbah Merkuri dengan Menggunakan Mikroba pada Lingkungan yang Tercemar. *Jurnal Istek*, 5(1), 139–148.
- Taroni, A. 2017. V for Vanadium. *Nature Chemistry*, 9(6), 602.
- Triyati, E. 1985. Spektrofotometer Ultra-Violet dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya dalam Oseanologi. *Jurnal Oseana*, X(1), 39–47.
- Ueki, T. 2015. Vanadium in the Environment and Its Bioremediation. *Plants, Pollutants and Remediation*, 1–404.
- Van Marwijk, J., Opperman, D. J., Piater, L. A., & Van Heerden, E. 2009.

- Reduction of Vanadium(V) by *Enterobacter cloacae* EV-SA01 Isolated From a South African Deep Gold Mine. *Biotechnology Letters*, 31(6), 845–849.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation . An overview. *Pure Appl. Chem*, 73(7), 1163–1172.
- Wang, Z., Tan, Y., Xu, D., Wang, G., Yuan, J., & Zheng, S. 2016. *Pedobacter vanadiisoli* sp . nov ., Isolated from Soil of a Vanadium Mine. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66, 5112–5117.
- Wang, G., Zhang, B., Li, S., Yang, M., & Yin, C. 2017. Simultaneous Microbial Reduction of Vanadium (V) and Chromium (VI) by *Shewanella loihica* PV-4. *Bioresource Technology*, 227, 353–358.
- Yang, J., Teng, Y., Wu, J., Chen, H., Wang, G., Song, L., Yue, W., Zuo, R., & Zhai, Y. 2017. Current Status and Associated Human Health Risk of Vanadium in Soil in China. *Chemosphere*, 171, 635–643.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Larutan Stok NaVO_3 100 mM dalam 100 mL Aquades

$$\text{Mr NaVO}_3 = 121,93$$

$$1\text{M} = 1000 \text{ mM}$$

1M = 121,93 gr/L, sehingga untuk membuat 100 mM menjadi

$$100 \text{ mM} = \frac{\text{Mr NaVO}_3}{10}$$

$$100 \text{ mM} = \frac{121,93}{10} = 12,193 \text{ gr/L}$$

$$\frac{12,193}{1000} = \frac{\text{gram NaVO}_3 \text{ yang dibutuhkan}}{100}$$

$$\frac{12,193}{1000} = \frac{x}{100}$$

$$x = 1,2193 \text{ gr/100 mL}$$

Jadi, untuk membuat 100 mL larutan NaVO_3 dengan konsentrasi 100 mM dilakukan dengan cara menimbang 1,2193 gr serbuk NaVO_3 dan dilarutkan dengan aquades 100 mL kemudian dihomogenkan.

Lampiran 2. Pembuatan Larutan NaVO₃ untuk Perlakuan

Penelitian ini menggunakan konsentrasi NaVO₃ yang berbeda pada media TYG Agar dan TYG Broth (0 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, dan 20 mM). Untuk membuat konsentrasi tersebut digunakan rumus pengenceran yaitu:

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Keterangan:

M1 = konsentrasi dari larutan stok NaVO₃

V1 = volume larutan stok NaVO₃ yang diambil

M2 = konsentrasi larutan yang NaVO₃ dibutuhkan dalam media

V2 = volume total media yang diberi NaVO₃

Pembuatan NaVO₃ dengan konsentrasi 5 mM dalam 10 mL media TYG Agar dan TYG Broth:

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

$$100 \times V1 = 5 \times 10$$

$$V1 = 0,5 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat konsentrasi NaVO₃ 5 mM dalam 10 mL media TYG Agar dan TYG Broth dengan diambil 0,5 mL NaVO₃ dari larutan stok 100 mM kemudian ditambahkan 9,5 mL media TYG Agar dan TYG Broth.

Konsentrasi	NaVO ₃	Media TYG Agar dan TYG Broth	Volume Total
0 mM	0 mL	10 mL	10 mL
5 mM	0,5 mL	9,5 mL	10 mL
10 mM	1 mL	9 mL	10 mL

15 mM	1,5 mL	8,5 mL	10 mL
20 mM	2 mL	8 mL	10 mL

Lampiran 3. Hasil Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri

1. Hasil pengukuran kurva pertumbuhan bakteri S2-4 Ulangan 1

Jam ke-	Ulangan	Nilai OD				
		0 mM	5 mM	10 mM	15 mM	20 mM
0	1	0.01	0.01	0.03	0.07	0.04
	2	0.01	0.01	0.03	0.07	0.04
2	1	0.04	0.04	0.06	0.22	0.15
	2	0.04	0.04	0.06	0.20	0.15
4	1	0.14	0.15	0.16	0.36	0.23
	2	0.11	0.15	0.10	0.36	0.23
6	1	0.21	0.31	0.32	0.57	0.38
	2	0.21	0.31	0.32	0.57	0.38
8	1	0.43	0.55	0.57	0.67	0.46
	2	0.43	0.55	0.57	0.67	0.46
10	1	0.73	0.74	0.75	0.90	0.67
	2	0.73	0.69	0.66	0.90	0.61
12	1	0.83	0.85	0.87	1.16	0.96
	2	0.83	0.85	0.87	1.16	0.96
14	1	0.76	0.64	0.72	1.03	0.77
	2	0.76	0.64	0.72	1.03	0.77
16	1	0.70	0.54	0.68	0.85	0.67
	2	0.70	0.54	0.68	0.85	0.67
18	1	0.64	0.44	0.54	0.81	0.56
	2	0.64	0.44	0.54	0.81	0.56
20	1	0.52	0.30	0.41	0.46	0.48
	2	0.52	0.30	0.40	0.46	0.48
22	1	0.48	0.24	0.29	0.32	0.34
	2	0.48	0.24	0.20	0.32	0.34
24	1	0.32	0.18	0.20	0.16	0.24
	2	0.32	0.18	0.20	0.16	0.24
26	1	0.25	0.11	0.13	0.10	0.14
	2	0.25	0.11	0.13	0.08	0.14
28	1	0.13	0.07	0.07	0.04	0.07
	2	0.13	0.07	0.07	0.04	0.07
30	1	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00

2. Hasil pengukuran kurva pertumbuhan bakteri S2-4 Ulangan 2

Jam ke-	Ulangan	Nilai OD				
		0 mM	5 mM	10 mM	15 mM	20 mM
0	1	0.01	0.01	0.02	0.07	0.04
	2	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
2	1	0.09	0.05	0.07	0.21	0.15
	2	0.09	0.05	0.07	0.21	0.15
4	1	0.16	0.17	0.15	0.34	0.27
	2	0.16	0.17	0.15	0.34	0.27
6	1	0.25	0.35	0.34	0.61	0.35
	2	0.25	0.35	0.34	0.61	0.35
8	1	0.32	0.57	0.58	0.73	0.41
	2	0.32	0.57	0.58	0.73	0.41
10	1	0.34	0.63	0.74	0.87	0.60
	2	0.34	0.63	0.69	0.83	0.60
12	1	0.77	0.81	0.85	1.06	0.95
	2	0.77	0.81	0.85	1.06	0.95
14	1	0.61	0.67	0.70	0.97	0.76
	2	0.61	0.67	0.70	0.97	0.76
16	1	0.59	0.50	0.66	0.84	0.68
	2	0.59	0.50	0.66	0.83	0.68
18	1	0.54	0.43	0.51	0.78	0.51
	2	0.54	0.43	0.51	0.78	0.51
20	1	0.49	0.31	0.40	0.47	0.47
	2	0.48	0.31	0.40	0.47	0.47
22	1	0.38	0.20	0.27	0.29	0.34
	2	0.38	0.15	0.22	0.22	0.32
24	1	0.34	0.15	0.20	0.14	0.21
	2	0.34	0.15	0.20	0.13	0.21
26	1	0.25	0.09	0.11	0.08	0.12
	2	0.25	0.09	0.11	0.08	0.12
28	1	0.11	0.07	0.08	0.04	0.06
	2	0.10	0.07	0.08	0.04	0.06
30	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3. Rata-rata pengukuran kurva bakteri S2-4

Jam ke-	Nilai OD				
	0 mM	5 mM	10 mM	15 mM	20 mM
0	0.01	0.01	0.03	0.06	0.04
2	0.07	0.05	0.07	0.21	0.15
4	0.14	0.16	0.14	0.35	0.25
6	0.23	0.33	0.33	0.59	0.37
8	0.38	0.56	0.58	0.70	0.44
10	0.54	0.67	0.71	0.88	0.62
12	0.80	0.83	0.86	1.11	0.96
14	0.69	0.66	0.71	1.00	0.77
16	0.65	0.52	0.67	0.84	0.68
18	0.59	0.44	0.53	0.80	0.55
20	0.50	0.31	0.4	0.47	0.48
22	0.43	0.21	0.25	0.29	0.33
24	0.33	0.17	0.20	0.15	0.23
26	0.25	0.10	0.12	0.09	0.13
28	0.12	0.07	0.08	0.04	0.07
30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00

Lampiran 4. Hasil Kurva Reduksi

1. Hasil pengukuran reduksi vanadium oleh isolat bakteri S2-4 Ulangan 1

Konsentrasi	Ulangan	OD awal	OD akhir
0 mM	1	0.000	0.000
	2	0.000	0.000
5 mM	1	0.620	0.409
	2	0.617	0.409
10 mM	1	0.120	0.022
	2	0.120	0.022
15 mM	1	0.216	0.034
	2	0.216	0.033
20 mM	1	0.497	0.148
	2	0.496	0.148


2. Hasil pengukuran reduksi vanadium oleh isolat bakteri S2-4 Ulangan 2

Konsentrasi	Ulangan	OD awal	OD akhir
0 mM	1	0.000	0.000
	2	0.000	0.000
5 mM	1	0.634	0.417
	2	0.634	0.417
10 mM	1	0.123	0.026
	2	0.123	0.026
15 mM	1	0.217	0.034
	2	0.217	0.034
20 mM	1	0.508	0.151
	2	0.508	0.151

3. Rata-rata pengukuran reduksi vanadium oleh isolat bakteri S2-4

Konsentrasi	OD awal	OD akhir	% Reduksi
0 mM	0.00	0.00	0%
5 mM	0.624	0.413	33.81%
10 mM	0.122	0.024	80.33%
15 mM	0.217	0.034	84.33%
20 mM	0.500	0.150	70.00%

Lampiran 5. Bukti Konsultasi Pembimbing Biologi






KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI GERBANG EMAS MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajeneq No. 50 Malang 65144 Telp. (041) 558922 Fax. (041) 558914

KARTU KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Radhiwa Hayyu-Aufa Haq
 NIM : 166210067
 Program Studi : SI Biologi
 Semester : Ganjil TA 2020/2021
 Pembimbing : Bayu Agung Prahardika, M. Si
 Judul Skripsi : Uji Reduksi dan Identifikasi Isolat Bakteri Resisten Vanadium dari Pertambangan Minyak Bumi Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	18 - Des - 2019	Konsultasi Judul	<i>Bah</i>
2.	18 - Feb - 2020	Konsultasi BAB I & II	<i>Bah</i>
3.	26 - Feb - 2020	Revisi BAB I, Konsultasi BAB III	<i>Bah</i>
4.	24 - Mar - 2020	Revisi BAB II	<i>Bah</i>
5.	6 - April - 2020	Revisi BAB II & BAB III	<i>Bah</i>
6.	9 - April - 2020	ACC Proposal Skripsi	
7.	2 - Maret - 2021	Konsultasi Data	<i>Bah</i>
8.	24 - Maret - 2021	Konsultasi BAB IV & BAB V	<i>Bah</i>
9.	30 - Maret - 2021	Revisi BAB IV	<i>Bah</i>
10.	6 - April - 2021	ACC Skripsi	<i>Bah</i>

Pembimbing Skripsi.

 Bayu Agung Prahardika, M. Si
 NIP. 19900807 201903 1 011

 April 2021

 Sandi Savitri, M.P.
 NIP. 19741018 200312 2 002

Lampiran 6. Bukti Konsultasi Pembimbing Agama



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax (0341) 558933

KARTU KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Radhwa Hayyu AuFa Haq
NIM : 16620067
Program Studi : S1 Biologi
Semester : Ganjil TA 2020/2021
Pembimbing : Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I
Judul Skripsi : Uji Reduksi dan Identifikasi Isolat Bakteri Resisten Vanadium dari Pertambangan Minyak Bumi Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan Kabupaten Bojonegoro

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	3- Maret-2020	Konsul Integrasi BAB I	
2.	5-Maret-2020	ACC BAB I	
3.	15-Maret-2021	Konsul Integrasi BAB IV	
4.	18-Maret-2021	Revisi Integrasi BAB IV	
5.	24-Maret-2021	ACC BAB IV	

Pembimbing Skripsi,

Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I
NIP. 19890113201802011 244



Dik. Bina: Sandi Savitri, M.P.
NIP. 19741018 200312 2 002