



**STUDI KEMAMPUAN MIKROBA EKSOGEN
Staphylococcus aureus DAN *Bacillus subtilis* SEBAGAI
AGEN BIOREMEDIASI LOGAM TIMBAL (Pb) DI
SUNGAI SETU PEKALONGAN**

Skripsi

Disusun sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

UNNES
Oleh
Alfian Maulana
4311413014
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

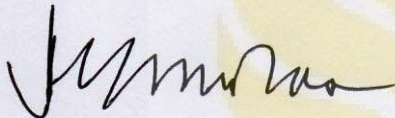
**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

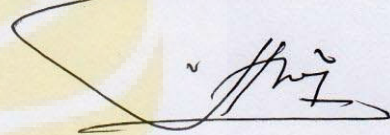
Semarang, 14 Agustus 2017

Pembimbing I,



Prof. Dr. Supartono, M.S
NIP. 195412281983031003

Pembimbing II,



Dr. Sri Mursiti, M.Si
NIP. 196709131999032001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 14 Agustus 2017



Alfian Maulana

4311413014



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Studi Kemampuan Mikroba Eksogen (*Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*) Sebagai Agen Bioremediasi Logam Timbal (Pb) di Sungai Setu Pekalongan

Disusun oleh

Alfian Maulana

4311413014

Telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 10 Agustus 2017

Panitia :



Ketua
Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt
196412231988031001

Sekretaris

Dr. Nanik Wijayati, M.Si
196910231996032002

Ketua Penguji

Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si
197704112005012014

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Prof. Dr. Supartono, M.S
195412281983031003

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Dr. Sri Mursiti, M.Si
196709131999032001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Berfikir sebelum bertindak.

Sesungguhnya kesabaran akan membuatmu mengerti bagaimana cara mensyukuri arti sebuah keberhasilan.

Janganlah takut untuk melangkah, karena 1000 mil dimulai dengan langkah pertama.

Jika menginginkan pelangi, maka kamu harus siap dengan datangnya hujan.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk

1. Untuk Bapak (Alm) Khalimi Johan, Ibu Farikha dan Bapak Jono, Mba Silvi, Mas Bagus, Amelia dan Reisyia.
2. Untuk Intan Nur Jaya
3. Untuk Yasmin, Blempo, Bujang, dan Bontot
4. Untuk teman-teman Black Holes
5. Untuk semua teman-teman Kimia 2013

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamiin penulis haturkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang sekaligus menyelesaikan tugas akhir/skripsi ini dengan baik.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu selesainya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si,Akt selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang
3. Dr. Nanik Wijayati, M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang
4. Prof. Dr. Supartono, M.S dan Dr. Sri Mursiti, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan pengalaman yang berharga.
5. Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si, selaku ketua penguji yang telah memberikan banyak masukan dan arahan serta ilmu yang sangat berharga.
6. Seluruh teman-teman kimia angkatan 2013 yang berjuang bersama-sama untuk mencapai kesuksesan yang diimpikan.
7. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik berupa materiil maupun moril.

Semoga Allah SWT, melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dunia ini tidak ada yang sempurna. Begitu juga dalam penulisan skripsi ini, yang tidak luput dari

kekurangan dan kesalahan. mudah- mudahan skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 14 Agustus 2017

Penulis



ABSTRAK

Maulana, Alfian. 2017. *Studi Kemampuan Mikroba Eksogen Staphylococcus Aureus dan Bacillus Subtilis Sebagai Agen Bioremediasi Logam Timbal (Pb) di Sungai Setu Pekalongan*. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Supartono, M.S. dan Pembimbing Pendamping Dr. Sri Mursiti, M.Si.

Kata kunci : *Limbah Tekstil, Bioremediasi, Logam Timbal (Pb), Mikroba eksogen.*

Limbah tekstil merupakan limbah cair dominan yang dihasilkan industri tekstil dari proses pewarnaan (*dyeing*), selain mengandung zat warna, limbah tekstil juga mengandung beberapa jenis logam berat berbahaya. Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Hasil uji awal menunjukkan kadar logam Pb di sungai setu pekalongan sebesar 2,584 ppm, kadar ini melebihi Standar maksimum kadar timbal (Pb) dalam air bersih dan air minum berdasarkan Permenkes No.416/Menkes/Per/IX/1990 yaitu 0,05 ppm. Untuk menanggulangi hal tersebut perlu dilakukan upaya, salah satunya dengan bioremediasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan mikroba eksogen *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis* terhadap jumlah total sel bakteri pada proses bioremediasi logam Pb dan kadar logam Pb dalam sedimen limbah tekstil setelah bioremediasi. Metode yang digunakan adalah *Total Plate Count* (TPC) untuk menghitung jumlah sel mikroba, dan metode destruksi untuk kadar logam dan di uji dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Mikroba eksogen yang digunakan adalah *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis* dengan berbagai konsentrasi penambahan masing-masing (10 dan 20%). Proses bioremediasi diinkubasi dari 15, 30 sampai dengan 45 hari. Hasil penelitian menunjukkan jumlah sel terbanyak pada perlakuan kontrol negatif sebanyak $8,9 \times 10^8$ CFU/mL dan persentase penurunan kadar logam Pb terbaik adalah pada penambahan *Staphylococcus aureus* 20% dengan persentase penurunan sebesar 95,85% dan waktu optimum yang diperlukan untuk mencapai persentase terbaik adalah pada waktu inkubasi 30 hari.

ABSTRACT

Maulana, Alfian. 2017. *Study the Ability of Exogenous Microbes Staphylococcus aureus and Bacillus subtilis as a Lead (Pb) Bioremediation Agent at Setu River Pekalongan*. Skripsi, Majoring Chemistry of Mathematics and Science Faculty of Semarang state University. Main Mentor Prof. Dr. Supartono, M.S. and Counselor Mentor Dr. Sri Mursiti, M.Si.

Keyword : Textile wastewater, Bioremediation, Lead (Pb), eksogenous microbes

Textile waste is the dominant liquid waste produced by the textile industry from the dyeing process, in addition to containing dyestuff; textile waste also contains several types of dangerous heavy metals. Pb metal is toxic to humans and can cause acute and chronic poisoning. The preliminary test results show a Pb metal at setu river Pekalongan content of 2.584 ppm, this level exceeds the maximum Standards of lead (Pb) in clean water and drinking water based on Permenkes. 416/Menkes/Per/IX/1990 which is 0,05 ppm. To overcome this, efforts should be made, one of them with bioremediation. The purpose of this study was to investigate the effect of exogenous microbial addition of *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis* on the total number of bacterial cells in the process of bioremediation of Pb metal and Pb metal content in textile waste sediment after bioremediation. The method used was Total Plate Count (TPC) to calculate microbial cell count, and destruction method for metal content and tested with AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). Exogenous microbes used were *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis* with various concentrations of each addition (10 and 20%). The bioremediation process was incubated from 15, 30 to 45 days. The results showed that the largest number of cells in the negative control treatment was $8,9 \times 10^8$ CFU/mL and the percentage decrease of Pb was best in the addition of *Staphylococcus aureus* 20% with the percentage decrease of 95.85% and the optimum time required to achieve the best percentage was on 30 days incubation time.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB	
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Limbah Tekstil	5
2.1.1 Zat Warna Tekstil.....	5
2.1.2 Dampak Limbah Tekstil.....	7
2.2 Pencemaran Logam Berat	9
2.3 Logam Berat Pb.....	10
2.3.1 Kegunaan Logam Timbal.....	12
2.4 Bioremediasi.....	13
2.4.1 Kekurangan dan Kelebihan Bioremediasi.....	13

2.5 <i>Staphylococcus aureus</i>	14
2.6 <i>Bacillus subtilis</i>	16
2.7 Pengaruh Konsentrasi dan Lama Inkubasi Terhadap Penurunan Logam Pb	17
2.8 Fase-Fase Pertumbuhan Bakteri.....	18
2.8.1 Fase Adaptasi	18
2.8.2 Fase Perbanyakkan.....	18
2.8.3 Fase Statis.....	19
2.8.4 Fase Kematian	19
2.9 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	20
3. METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Rancangan Penelitian	22
3.2 Variabel Penelitian	22
3.2.1 Variabel Bebas	22
3.2.2 Variabel Terikat	23
3.2.3 Variabel Terkait	23
3.3 Waktu dan Tempat	23
3.4 Alat dan Bahan	23
3.4.1 Alat	23
3.4.2 Bahan	24
3.5 Kegiatan Kerja	24
3.5.1 Sterilisasi Alat.....	24
3.5.2 Pengukuran Kadar Awal Logam Pb pada Sampel	24
3.5.3 Pembuatan Media.....	25
3.5.4 Peremajaan dan Pembuatan Inokulum Bakteri (<i>Staphylococcus</i> <i>aureus</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>).....	26
3.5.5 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri	26
3.5.6 Persiapan Reaktor Bioremediasi	27
3.5.7 Percobaan Bioremediasi.....	27
3.5.8 Perhitungan Persentase Penurunan Kadar Logam	28
3.5.9 Perhitungan Jumlah Total Sel Mikroba.....	28

3.6 Penumpulan dan Analisis Data	28
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri	29
4.2 Pengaruh Lama Inkubasi Terhadap Jumlah Total Sel Mikroba.....	32
4.3 Pengaruh Mikroba Eksogen Terhadap Kadar Logam Pb.....	35
4.4 Pengaruh pH Media Terhadap Kadar Logam Pb Limbah Tekstil.....	41
5. PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Penggolongan zat warna menurut sifat dan cara pencelupannya.....	6
2.2. Kandungan logam berat pada beberapa pewarna tekstil	7
2.3. Tabel dampak logam berat bagi kesehatan	7
4.1 Fase Log Bakteri Eksogen	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>Staphylococcus aureus</i>	15
2.2 <i>Staphylococcus aureus</i> pada agar Manitol	16
2.3 <i>Bacillus subtilis</i>	16
4.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	29
4.2 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	30
4.3 Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aureginosa</i>	30
4.4 Pertumbuhan Mikroba Eksogen Inkubasi 15 hari	32
4.5 Pertumbuhan Mikroba Eksogen Inkubasi 30 hari	33
4.6 Pertumbuhan Mikroba Eksogen Inkubasi 45 hari	34
4.7 Penurunan Kadar Logam Pb di sedimen sungai setu Pekalongan dengan Mikroba Eksogen <i>S. aureus</i> dan <i>B. Subtilis</i>	36
4.8 Persentase Kadar Logam Pb dengan Mikroba Eksogen <i>Staphylococcus</i> <i>aureus</i> dan <i>Bacillus subtilis</i>	36
4.9 Nilai pH Selama Perlakuan Bioremediasi	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Sterilisasi Alat dan Bahan	50
2. Pembuatan Kurva Standar Logam Pb	51
3. Uji Kadar Logam Pb pada Sedimen Sungai Setu Pekalongan.....	52
4. Peremajaan dan Pembuatan Inokulum Bakteri (<i>S. aureus</i> dan <i>B. subtilis</i>)..	53
5. Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	54
6. Percobaan Bioremediasi.....	55
7. Komposisi Media Bioremediasi dan Pembuatan Larutan Pb 1000 mg/L....	56
8. Hasil Absorbansi Kurva Pertumbuhan (<i>P. aereginosa</i> , <i>B. subtilis</i> , dan <i>S. aureus</i>)	58
9. Hasil Uji Pengaruh Bakteri Eksogen (<i>S. aureus</i> dan <i>B. subtilis</i>) terhadap Kadar Logam Pb di Sungai Setu Pekalongan	59
10. Hasil Perhitungan Jumlah Sel Selama Bioremediasi	63
11. Hasil Uji pH Larutan Selama Bioremediasi.....	65
12. Hasil Uji Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	66
13. Dokumentasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusakan lingkungan adalah perbuatan manusia yang sadar atau tidak sadar langsung atau tidak langsung mengakibatkan rusaknya suatu lingkungan. Pencemaran lingkungan yaitu masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam suatu lingkungan atau berubahnya tata lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam yang mengakibatkan turunnya kualitas lingkungan, sehingga tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya (Fakhrudin *et al.*, 2008)

Suatu lingkungan hidup dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan itu sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat dari masuk dan atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan lingkungan itu (Khoiroh, 2014)

Pekalongan merupakan sebuah kota dengan produksi batik yang telah terkenal di seluruh Indonesia, baik industri besar maupun industri rumahannya. Selain memberi nilai ekonomis bagi masyarakat, sering kali yang terlupakan adalah pembuangan limbah akhir yang dapat merusak lingkungan. Air limbah yang dibuang begitu saja ke lingkungan menyebabkan pencemaran, antara lain menyebabkan polusi sumber-sumber air seperti sungai, danau, sumber mata air, dan sumur. Limbah cair mendapat perhatian yang lebih serius dibandingkan bentuk limbah yang lain karena limbah cair dapat menimbulkan pencemaran

lingkungan dalam bentuk pencemaran fisik, pencemaran kimia, pencemaran biologis dan pencemaran radioaktif.

Limbah tekstil merupakan limbah cair dominan yang dihasilkan industri tekstil karena terjadi proses pemberian warna (*dyeing*) yang di samping memerlukan bahan kimia juga memerlukan air sebagai media pelarut, selain mengandung zat warna, limbah tekstil juga mengandung beberapa jenis logam berat berbahaya (Zille, 2005)

Logam berat merupakan salah satu agen pencemar lingkungan, maka limbah yang mengandung logam berat perlu dikelola secara benar sebelum di buang ke lingkungan. Demikian juga dengan kawasan yang telah tercemar dengan logam berat, perlu dipikirkan bagaimana strategi remediasi untuk mengurangi konsentrasi logam berat. Adanya banyak teknik remediasi lingkungan yang terkontaminasi logam, baik itu dengan cara fisik, kimia maupun cara biologi. Salah satu pencemar yang perlu diperhatikan adalah Pb. Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Logam Pb dapat menghambat proses kerja enzim (Widowati, 2008).

Teknik remediasi lingkungan tercemar banyak menggunakan cara biologis (bio-remediasi) yaitu dengan bantuan mikroba, algae maupun jamur, karena pertimbangan efek samping yang dihasilkannya dan biaya operasional. Bioremediasi dapat dilakukan dengan mengandalkan mikroba endogen atau dapat ditingkatkan dengan penambahan mikroba eksogen. Selain itu juga dapat digunakan kultur tunggal maupun campuran (Zahoor & Rehman, 2009).

Studi menjelaskan bahwa mikroorganisme dapat digunakan sebagai penurun atau pendegradasi pencemaran lingkungan seperti *Bacillus*, *Citrobacter*, *Pseudomonas*, *Plectonema*, *Saccharomyces* dan *Aspergillus* (Park *et al.*, 2011). Penelitian tentang kemampuan resistensi *Pseudomonas* sp. sebagai agen bioremediasi logam berat juga telah dilakukan oleh Khoiro (2014), terhadap Pb dan didapatkan hasil bahwa *Pseudomonas* sp. efektif sebagai agen bioremediasi dan resisten terhadap logam berat.

Penelitian lain menjelaskan bahwa organisme pendegradasi cypermethrin yang dijelaskan dalam literatur antara lain adalah *Bacillus subtilis* yang merupakan sebuah strain mikroba yang memiliki kemampuan degradasi cypermethrin dan juga kemampuan toleransi terhadap logam berat yang dapat digunakan untuk bioremediasi limbah terkontaminasi logam berat (Xiao *et al.*, 2015). Oleh karena itu penelitian bioremediasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan remediasi logam Pb pada sampel sedimen sungai setu dengan menambahkan *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis* yang sudah diketahui resisten terhadap logam berat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa persentase kemampuan bakteri eksogen sebagai agen bioremediasi logam Pb pada sedimen sungai Setu Pekalongan?
2. Berapakah waktu optimum untuk menurunkan kadar logam Pb dalam bioremediasi logam Pb pada sedimen sungai Setu Pekalongan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk :

1. Mengetahui kemampuan bakteri eksogen sebagai agen bioremediasi logam Pb pada sedimen sungai Setu Pekalongan.
2. Mengetahui waktu optimum penurunan kadar logam Pb dalam boremediasi logam Pb pada sedimen sungai Setu Pekalongan.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya memberikan informasi solusi penanggulangan pencemaran logam Pb dalam limbah tekstil batik daerah Pekalongan melalui bioremediasi dengan bakteri eksogen (*Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Limbah Tekstil

Limbah industri tekstil tergolong limbah cair dari proses pewarnaan yang merupakan senyawa kimia sintetis, mempunyai kekuatan pencemar yang kuat. Bahan pewarna tersebut telah terbukti mampu mencemari lingkungan. Zat warna tekstil merupakan semua zat warna yang mempunyai kemampuan untuk diserap oleh serat tekstil dan mudah dihilangkan warna (kromofor) dan gugus yang dapat mengadakan ikatan dengan serat tekstil (auksokrom) (Zille, 2005).

Zat warna tekstil merupakan gabungan dari senyawa organik tidak jenuh, kromofor dan auksokrom sebagai pengaktif kerja kromofor dan pengikat antara warna dengan serat (Fatimah, 2006).

2.1.1 Zat Warna Tekstil

Limbah tekstil mengandung bahan-bahan yang berbahaya bila dibuang ke lingkungan, terutama daerah perairan. Bantaran sungai atau kali sering dijumpai perairan yang tercemar oleh limbah tekstil. Cemaran ini ditandai dengan perubahan warna perairan menjadi merah, biru dan sebagainya yang berasal dari limbah tekstil tersebut. Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna, terutama zat warna sintetis. Zat warna sintetis merupakan molekul dengan sistem elektron terdelokalisasi dan mengandung dua gugus yaitu kromofor dan auksokrom (Ramachandran *et al.*, 2009).

Saat ini, terdapat bermacam-macam jenis zat warna sintetik yang penggunaannya disesuaikan dengan jenis serat yang akan dicelup, ketahanan warna yang dikehendaki, faktor-faktor teknis dan ekonomis lainnya. Penggolongan zat warna tekstil berdasarkan cara pencelupannya disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penggolongan zat warna menurut sifat dan cara pencelupannya (Zille, 2005).

Golongan Zat Warna	Sifat
Zat warna <i>direct</i>	Mempunyai daya ikat dengan serat selulosa, pencelupan dilakukan secara langsung dalam larutan dengan zat-zat tambahan yang sesuai.
Zat warna <i>mordant</i>	Mempunyai daya ikat yang lemah dengan serat. Pada proses pencelupan biasanya dilakukan dengan penambahan krom pada zat warna sehingga membentuk kompleks logam.
Zat warna <i>reactive</i>	Mempunyai gugus reaktif yang dapat membentuk ikatan kovalen kuat dengan serat selulosa, protein, poliamida dan polyester, dilakukan pada suhu rendah dan tinggi.
Zat warna penguat	Mempunyai daya ikat yang kuat dengan serat selulosa, warna terbentuk dalam serat setelah ditambahkan garam penguatnya.
Zat warna asam	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein dan poliamida. Pencelupan dilakukan pada kondisi asam dan secara langsung ditambahkan pada serat
Zat warna basa	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein. Pencelupan dilakukan pada kondisi basa dan secara langsung ditambahkan pada serat.
Zat warna belerang	Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat selulosa. Pada gugus sampingnya mengandung belerang yang mampu berikatan kuat dengan serat.

Selain mengandung zat warna, limbah tekstil juga mengandung beberapa jenis logam berat berbahaya. Logam berat yang terdapat dalam limbah tekstil disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan logam berat pada beberapa pewarna tekstil (Zille, 2005)

Logam (mg/L)	Konsentrasi dalam Kelas Pewarna/Dyes					
	Asam	Basa	<i>Direct</i>	Disperse	<i>Fiber Reactive</i>	Vat
Arsenic	<1	<1	<1	<1	1,4	<1
Cadmium	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Chromium	9	2,5	3,0	3,0	24	83
Cobalt	3,2	<1	<1	<1	<1	<1
Tembaga	7,9	33	35	45	71	110
Pb	37	8	28	3,7	52	6
Merkuri	<1	0,5	0,5	<1	0,5	1,0
Seng	<13	32	8	3	4	4

2.1.2 Dampak Limbah Tekstil

1. Bagi Kesehatan

Dampak yang ditimbulkan akibat logam berat bagi kesehatan disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Dampak logam berat bagi kesehatan (Zille, 2005)

Logam berat	Dampak bagi kesehatan
Arsen (As)	Menyebabkan berbagai gangguan kesehatan kronis, terutama kanker. Arsen juga dapat merusak ginjal dan bersifat racun yang sangat kuat.
Cadmium (Cd)	Dalam bentuk serbuk mudah terbakar. Beracun jika terhirup dari udara atau uap. Dapat menyebabkan kanker. Larutan dari kadmium sangat beracun. Jangka panjang, terakumulasi di hati, pankreas, ginjal dan tiroid, dicurigai dapat menyebabkan hipertensi.

Kromium (Cr)	Kromium hexavalen bersifat karsinogenik dan korosif pada jaringan tubuh. Jangka panjang, peningkatan sensitivitas kulit dan kerusakan pada ginjal.
Pb (Pb)	Beracun jika termakan atau terhirup dari udara atau uap. Jangka panjang, menyebabkan kerusakan otak dan ginjal; kelainan pada kelahiran.
Tembaga (Cu)	Konsumsi Cu dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan gejala-gejala yang akut.

Dampak limbah tekstil bagi kesehatan lainnya seperti limbah asam dapat menyebabkan luka pada kulit, selaput lendir, selaput mata dan saluran pernapasan. Limbah basa tidak begitu bahaya bagi sistem saluran pernafasan, tetapi dapat mengiritasi kulit. Air yang tercemar oleh limbah tekstil juga sangat berbahaya bila digunakan oleh manusia untuk kebutuhan sehari-hari, hal ini karena beberapa senyawa kimia dan limbah tekstil mempunyai sifat yang toksik bagi mahluk hidup yang dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kanker dan tidak berfungsinya organ-organ tubuh bahkan dapat menyebabkan kematian. Hidrokarbon terhalogenasi (misalnya karbon tetraklorida yang banyak ditemukan di dalam larutan dan pencair *dry-cleaning* atau etilen diklorida) dapat menyebabkan batuk dan tersedak, kemudian pernafasan menjadi cepat. Kulitnya tampak kebiruan karena berkurangnya kadar oksigen dalam darah. Selanjutnya terjadi muntah dan batuk yang menetap disertai megap-megap.

2. Bagi Lingkungan

Limbah-limbah buangan dari industri tekstil yang ada di lingkungan dapat mencemari perairan dan dapat pula merusak ekosistem perairan. Selain itu, zat warna yang digunakan untuk pewarna tekstil (senyawa azo) yang dapat mencemari perairan. Zat warna dari limbah tekstil bila dibuang ke perairan dapat

menutupi permukaan badan air sehingga menghalangi sinar matahari untuk masuk ke dalam perairan. Berkurangnya sinar matahari yang masuk ke perairan menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis oleh tumbuhan yang ada di perairan. Hal ini akan menyebabkan kandungan oksigen di dalam air menurun dan pada akhirnya menyebabkan kematian makhluk hidup yang ada di perairan tersebut.

Pencemaran limbah tekstil dapat mengurangi nilai estetika badan air, badan air (sungai atau danau) menjadi tidak nyaman untuk dipandang karena airnya berwarna bahkan mungkin berwarna gelap atau hitam pekat. Nilai estetika suatu badan air juga menurun dengan timbulnya bau yang tidak sedap seperti bau amoniak dan asam sulfida hasil penguraian limbah oleh bakteri secara anaerob karena badan air mempunyai kandungan oksigen yang sangat minim. Penurunan atau hilangnya nilai estetika suatu badan air akan menurunkan nilai ekonomis badan air, dan tentunya akan merugikan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar badan air tersebut.

2.2 Pencemaran Logam Berat

Beberapa logam berat sangat toksik untuk manusia dan hewan. Logam-logam tersebut bersifat tahan lama dan akibat keracunannya juga bisa bertahan dalam waktu yang sangat lama (Maslukah, 2007).

Logam berat yang dapat mencemari air antara lain industri logam, industri bahan tambang, pemakaian logam, pemakaian senyawa- senyawa logam, ekskresi manusia atau hewan dan sampah padat. Faktor yang menunjang sukar hilangnya logam-logam berat dalam air adalah logam-logam berat tidak dapat

mengalami pemecahan secara biologis seperti halnya pencemar-pencemar organik non plastik. Logam berat cenderung mengendap di dasar perairan yaitu dengan mengadakan persenyawaan bersama senyawa organik (Maslukah, 2007).

Logam berat dalam air umumnya berpengaruh buruk terhadap proses biologis. Kematian ikan dan organisme perairan akibat logam berat dapat terjadi karena keracunan atau kation logam berat dengan fraksi tertentu dalam lendir insang sehingga insang terselaputi gumpalan lendir logam berat akibatnya, organisme akan mati lemas. Timah (Pb), seng (Zn), dan tembaga (Cu), pada umumnya menyebabkan kematian ikan dan organisme perairan lainnya melalui proses semacam ini (Fatimah *et al.*, 2014)

Hampir semua logam, termasuk logam-logam berat yang ada di dalam tanah, terdapat dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain dan berwujud seperti batu-batuan. Hanya sedikit yang unsur murni dalam bentuk butiran di tengah batu-batuan, misalnya emas, platinum, perak, air raksa, dan tembaga. Cuaca berpengaruh pada kurun waktu yang sangat lama, mula-mula batu-batuan tersebut retak, kemudian lepas sekeping demi sekeping dan akhirnya menjadi butiran-butiran yang halus. Bersama air hujan, butiran-butiran tersebut akan sampai pada badan-badan air, dan persenyawaan logam berat yang dikandungnya segera melepaskan ion-ion positifnya (Maula *et al.*, 2008).

2.3 Logam Berat Pb

Pb sebagai logam berat adalah unsur yang terbanyak di dunia. Istilah logam berat digunakan karena Pb mempunyai densitas (rapatan) yang sangat

tinggi ($11,34 \text{ g/cm}^3$), jauh lebih tinggi daripada densitas tertinggi logam transisi pertama (yaitu $8,92 \text{ g/cm}^3$ untuk tembaga) (Purnamawati *et al.*, 2015)

Pb termasuk unsur golongan 14 (*p*). Pb bersifat lembek-lemah dengan titik leleh 372°C , tampak mengkilat/berkilauan ketika baru dipotong, tetapi segera menjadi buram ketika terjadi kontak dengan udara terbuka. Hal ini karena terjadi pembentukan lapisan timbel-oksida atau timbel karbonat yang melapisi secara kuat, sehingga dapat mencegah terjadinya reaksi lebih lanjut. Karena sifat tersebut, Pb banyak digunakan dalam kebutuhan sehari-hari (Sugiyarto, 2009). Adi dan Nana (2010), menambahkan, Pb banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifatnya sebagai berikut:

1. Pb mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal
2. Pb merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk
3. Sifat kimia Pb menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab
4. Pb dapat membentuk campuran dengan logam lainnya, dan campuran yang terbentuk mempunyai sifat berbeda dengan Pb yang murni
5. Densitas logam Pb lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri.

Gas buangan dari kendaraan bermotor masih mengandung Pb dalam jumlah yang cukup besar. Bentuk aerosol anorganik zat-zat ini akan masuk ke lingkungan dan akan masuk ke dalam tubuh bersama udara yang dihirup atau

makanan yang dimakan seperti buah-buahan dan sayur-sayuran. Inspirasi udara yang mengandung Pb sekitar 50% akan diabsorpsi dari paru-paru, sedangkan absorpsi dari saluran cerna sekitar 8-10%. Jumlah yang diabsorpsi dari saluran cerna, sebagian akan keluar dari saluran cerna, sebagian akan keluar melalui empedu. Bagian usus yang lebih ujung ini akan membentuk Pb sulfida yang keluar bersama feses, sebagian dari ini akan mengalami reabsorpsi kembali (peredaran darah enterohepatik) (Khoiroh, 2014).

2.3.1 Kegunaan Logam Pb

Penggunaan Pb terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpan untuk mobil, dimana digunakan Pb metalik dan komponen-komponennya. Elektroda dari beberapa baterai mengandung struktur inaktif yang disebut *grid* yang dibuat dari campuran Pb yang mengandung 93% Pb dan 7% antimony. Struktur ini merupakan penyangga mekanik dari komponen baterai yang aktif dan merupakan jalur aliran listrik. Bagian yang aktif dari baterai terdiri dari Pb dioksida (PbO_2) dan logam Pb yang terikat pada *grid* (Sugiyarto, 2009).

Penggunaan lainnya dari Pb adalah untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa, solder, bahan kimia, pewarna dan lain-lainnya. Beberapa produk logam dibuat dari Pb murni yang diubah menjadi berbagai bentuk dan sebagian besar terbuat dari campuran Pb. Penggunaan Pb bukan campuran terutama terbatas pada produk-produk yang harus tahan karat. Contohnya pipa Pb digunakan untuk pipa-pipa yang akan mengalirkan bahan-bahan kimia yang korosif, lapisan Pb digunakan untuk melapisi tempat-tempat cucian yang sering mengalami kontak dengan bahan-bahan korosif dan Pb

juga digunakan sebagai pelapis kabel listrik yang akan digunakan di dalam tanah atau di bawah permukaan air. Komponen Pb juga digunakan sebagai pewarna cat karena kelarutannya di dalam air rendah, dapat berfungsi sebagai pelindung, dan terdapat dalam berbagai warna, yang paling banyak digunakan adalah Pb putih yang mempunyai rumus $Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$ (Sugiyarto, 2009).

2.4 Bioremediasi

Bioremediasi adalah strategi atau proses detoksifikasi (menurunkan tingkat racun) dalam tanah atau lingkungan lainnya dengan menggunakan mikroorganisme, tanaman, atau enzim mikroba atau enzim tanaman (Perdana, 2012). Bioremediasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggunakan mikroba untuk mengolah bahan kontaminan melalui mekanisme biodegradasi alamiah atau meningkatkan mekanisme biodegradasi alamiah dengan menambahkan mikroba, nutrisi, donor elektron dan atau akseptor elektron (Yulia, 2013). Teknologi bioremediasi memiliki banyak keuntungan, namun yang paling utama adalah *sustainable*. Saat bioremediasi terjadi senyawa yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan tersebut, sebuah peristiwa yang disebut biotransformasi. Kasus yang banyak terjadi biotransformasi berujung pada biodegradasi, dimana polutan beracun terdegradasi, strukturnya menjadi tidak kompleks dan akhirnya menjadi metabolit yang tidak berbahaya dan tidak beracun (Pusat Penelitian Bioteknologi Ilmu Pengetahuan Indonesia, 2013).

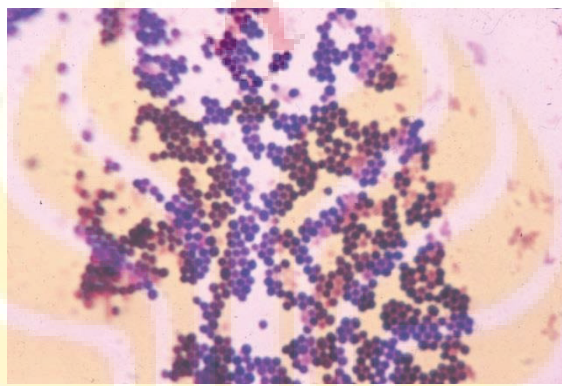
2.4.1 Kekurangan dan kelebihan bioremediasi

1. Kelebihan bioremediasi sebagai berikut (Priadie, 2012):
 - a. Proses pelaksanaan dapat dilakukan langsung di daerah tersebut dengan lahan yang sempit sekalipun.
 - b. Mengubah polutan bukan hanya memindahkannya.
 - c. Proses degradasi dapat dilaksanakan dalam jangka waktu yang cepat.
 - d. Bioremediasi sangat aman digunakan karena menggunakan mikroba yang secara alamiah sudah ada dilingkungan (tanah).
 - e. Bioremediasi tidak menggunakan/menambahkan bahan kimia berbahaya.
 - f. Teknik pengolahannya mudah diterapkan dan murah biaya.
2. Kekurangan bioremediasi sebagai berikut :
 - a. Tidak semua bahan kimia dapat diolah secara bioremediasi.
 - b. Membutuhkan pemantauan yang ekstensif .
 - c. Membutuhkan lokasi tertentu.
 - d. Pengotornya bersifat toksik
 - e. Berpotensi menghasilkan produk yang tidak dikenal
 - f. Dapat digabung dengan teknik pengolahan lain
 - g. Persepsi sebagai teknologi yang belum teruji

2.5 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan suatu kuman berbentuk sferis yang tumbuh bergerombol seperti buah anggur dengan ukuran diameter sekitar 0,5-1,5 μm . *S. aureus* memiliki warna keemasan ketika dibiakkan pada media solid,

sesuai dengan namanya “aureus” yang berasal dari bahasa Latin. Merupakan salah satu kuman flora normal yang ditemukan pada kulit dan hidung manusia. Sama seperti *species Staphylococcus* yang lain, *S. aureus* bersifat non motil, non spora, anaerob fakultatif yang tumbuh melalui respirasi aerob atau fermentasi, dan termasuk bakteri kokus gram positif. Kuman ini juga dapat menghemolisis agar darah.



Gambar 2.1 *Staphylococcus aureus*

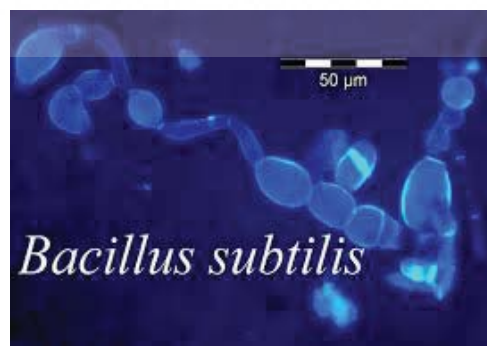
S. aureus mampu menghasilkan enzim katalase yang berperan dalam proses pengubahan hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Oleh karena hal tersebut *S. aureus* dikatakan bersifat katalase positif dimana hal ini dapat membedakannya dari genus *Streptococcus*. *S. aureus* juga menunjukkan kemampuan untuk menghasilkan enzim koagulase yang dapat membedakannya dari *Staphylococcus* jenis lainnya. *S. aureus* memiliki kemampuan untuk memfermentasikan manitol menjadi asam, hal ini dapat dibuktikan bila *S. aureus* dibiakkan dalam agar Manitol, dimana terjadi perubahan pH dan juga perubahan warna dari merah ke kuning.



Gambar 2.2 *Staphylococcus aureus* pada agar Manitol

2.6 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan bakteri Gram positif, berbentuk batang, dapat tumbuh pada kondisi *aerob* dan *anaerob*. Sporangya tahan terhadap panas (suhu tinggi), mampu mendegradasi Xylandan karbohidrat. *Bacillus subtilis* mempunyai sifat: mampu tumbuh pada suhu lebih dari 50°C dan suhu kurang dari 5°C, mampu bertahan terhadap pasteurisasi, mampu tumbuh pada konsentrasi garam tinggi (>10%), mampu menghasilkan spora dan mempunyai daya proteolitik yang tinggi dibandingkan mikroba lainnya. *Bacillus* adalah salah satu genus bakteri yang berbentuk batang dan merupakan anggota dari divisi Firmicutes. *Bacillus* merupakan bakteri yang bersifat aerob obligat atau fakultatif, dan positif terhadap uji enzim katalase.



Gambar 2.3 *Bacillus subtilis*

Bacillus secara alami terdapat dimana-mana, dan termasuk spesies yang hidup bebas atau bersifat patogen. Beberapa spesies *Bacillus* menghasilkan enzim ekstraseluler seperti *protease*, *lipase*, *amilase*, dan *selulase* yang bisa membantu pencernaan dalam tubuh hewan (Wongsa dan Werukhamkul, 2007). Jenis *Bacillus* (*B. cereus*, *B. clausii* dan *B. pumilus*) termasuk dalam lima produk probiotik komersil terdiri dari spora bakteri yang telah dikarakterisasi dan berpotensi untuk kolonisasi, immunostimulasi, dan aktivitas antimikrobanya (Duc, 2004).

Penelitian dari beberapa sumber telah berhasil mengisolasi dan memurnikan bakteriosin *Bacillus* sp. Gram positif diantaranya yaitu subtilin yang dihasilkan oleh *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), coagulin dihasilkan oleh *B. coagulans*, cerein dihasilkan oleh *B. cereus*, dan tochicin yang dihasilkan oleh *B. thuringiensis*. Megacinin yang dihasilkan oleh *B. megantherium* (Mythili & Karthikeyan, 2011).

2.7 Pengaruh Konsentrasi dan Lama Inkubasi Terhadap Penurunan Logam Pb

Yulia (2013) menjelaskan bahwa semakin besar konsentrasi cemaran maka semakin lama waktu yang dibutuhkan mikroba untuk mendegradasi. Jumlah cemaran yang semakin besar menyebabkan pertumbuhan bakteri akan semakin terhambat yang ditunjukkan dengan berkurangnya jumlah sel bakteri pada fase eksponensialnya. Fase adaptasi konsentrasi mikroorganisme belum mengalami peningkatan dan belum ada tanda proses biodegradasi. Kemudian setelah fase adaptasi, terjadi peningkatan jumlah sel bakteri yang sangat tajam dan setelah itu

terjadi penurunan jumlah sel mikroba, hal ini menunjukkan bakteri mulai mengalami fase kematian.

Semakin lama waktu inkubasi maka proses biodegradasi akan semakin besar, namun bila waktu inkubasi terlalu lama proses degradasi dapat menurun karena mikroba yang ada memasuki masa kematian (Charlena, 2010).

2.8 Fase-Fase Pertumbuhan Bakteri

Terdapat 4 fase pertumbuhan bakteri yaitu (Purwoko, 2007) :

2.8.1 Fase adaptasi (*lag phase*)

Fase ini tidak ada pertambahan populasi. Sel mengalami perubahan dalam komposisi kimiawi dan bertambah ukurannya, substansi interaseluler bertambah (Perlczar, 2005). Ketika sel dalam fase statis dipindahkan ke media baru, sel akan melakukan proses adaptasi. Proses adaptasi meliputi sintesis enzim baru yang sesuai dengan medianya dan pemulihan terhadap metabolit yang bersifat toksik (misalnya asam, alkohol, dan basa) pada waktu media lama. Fase adaptasi tidak di jumpai pertambahan jumlah sel, akan tetapi fase adaptasi dapat dihindari (langsung ke fase perbanyakan), jika sel di media lama dalam kondisi fase perbanyakan dan dipindahkan ke media baru yang sama komposisinya dengan media lama.

2.8.2 Fase perbanyakan (logaritma atau eksponensial)

Fase pembiakan bakteri berlangsung paling cepat. Jika ingin biakan bakteri yang cepat tumbuh, maka bakteri dalam fase ini baik sekali untuk dijadikan inokulum (Dwidjuseputro, 1998). Sel akan membelah dengan laju yang konstan massa menjadi dua kali lipat dengan laju yang sama, aktivitas metabolit

konstan dan keadaan pertumbuhan yang seimbang (Pelczar, 2005). Setelah memperoleh kondisi ideal dalam pertumbuhannya, sel melakukan pembelahan. Karena pembelahan sel merupakan persamaan ekponensial, maka fase itu disebut juga fase eksponensial. Pada fase perbanyak jumlah sel meningkat pada batas tertentu (tidak terdapat pertumbuhan bersih jumlah sel), sehingga memasuki fase statis. Pada fase perbanyak sel melakukan konsumsi nutrisi dan proses fisiologis lainnya (Purwoko, 2007).

2.8.3 Fase statis/konstan

Fase ini terjadi penumpukan produk beracun dan atau kehabisan nutrisi. Beberapa sel mati sedangkan yang lain tumbuh dan membelah. Jumlah sel hidup menjadi tetap (Pelczar, 2005). Fase ini menunjukkan jumlah bakteri yang berbiak sama dengan jumlah bakteri yang mati, sehingga kurva menunjukkan garis yang hampir horizontal. Alasan bakteri tidak melakukan pembelahan sel pada fase statis bermacam-macam. Beberapa alasan yang dapat dikemukakan adalah : Nutrisi habis, akumulasi metabolit toksik (misalnya alkohol, asam, dan basa), penurunan kadar oksigen, penurunan nilai aw (ketersediaan air). Pada fase statis biasanya sel melakukan adaptasi terhadap kondisi yang kurang menguntungkan (Purwoko, 2007).

2.8.4 Fase kematian

Fase ini sel menjadi mati lebih cepat dari pada terbentuknya sel-sel baru, laju kematian mengalami percepatan menjadi eksponensial bergantung pada spesiesnya, semua sel mati dalam waktu beberapa hari atau beberapa bulan (Pelczar, 2005). Penyebab utama kematian adalah autolisis sel dan penurunan

energi seluler. Beberapa bakteri hanya mampu bertahan beberapa jam selama fase statis dan akhirnya masuk ke dalam fase kematian, sementara itu beberapa bakteri hanya mampu bertahan sampai harian dan mingguan pada fase statis dan akhirnya masuk ke fase kematian. Beberapa bakteri bahkan mampu bertahan sampai puluhan tahun sebelum mati, yaitu dengan mengubah sel menjadi spora (Purwoko, 2007). Fase pertumbuhan yang paling optimal dalam mendegradasi logam berat Pb adalah fase logaritma atau eksponensial.

2.9 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Peristiwa serapan atom pertama kali diamati oleh Fraunhofer, ketika mengamati garis-garis hitam pada spektrum matahari. Spektroskopi serapan atom pertama kali digunakan pada tahun 1995 oleh Walsh. Sebanyak 65 unsur diteliti dan dapat dianalisis dengan cara tersebut. Spektroskopi serapan atom digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam dalam jumlah sedikit (*trace*) dan sangat sedikit (*ultratrace*). Cara analisis ini memberikan kadar total unsur logam dalam suatu sampel dan tidak tergantung pada bentuk molekul dari logam dalam sampel tersebut. Cara ini cocok untuk analisis kelumit logam karena mempunyai kepekaan yang tinggi (batas deteksi kurang dari 1 ppm), pelaksanaannya relatif sederhana, dan interferensinya sedikit. Spektroskopi serapan atom didasarkan pada penyerapan energi sinar oleh atom-atom netral, unsur yang diserap biasanya sinar tampak atau ultraviolet. Dalam garis besarnya prinsip spektroskopi serapan atom sama saja dengan spektrofotometri sinar tampak dan ultraviolet. Perbedaan terletak pada bentuk spektrum, cara pengerjaan sampel dan peralatannya (Rohman, 2007).

Absorpsi terjadi pada populasi atom yang berada pada tingkat dasar dilewatkan suatu berkas radiasi maka akan terjadi penyerapan energi radiasi oleh atom-atom tersebut. Frekuensi radiasi yang paling banyak diserap adalah frekuensi radiasi resonan dan bersifat karakteristik untuk tiap unsur. Pengurangan intensitasnya sebanding dengan jumlah atom yang berada pada tingkat dasar. Metode spektrofotometri serapan atom berdasarkan pada prinsip absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang ini mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom yang mana transisi elektronik suatu atom bersifat spesifik. Atom akan memperoleh energi sehingga suatu atom pada keadaan dasar dapat ditingkatkan energinya ke tingkat eksitasi dengan menyerap suatu energi (Rohman, 2007).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan pada sedimen sungai setu Pekalongan menggunakan bakteri eksogen (*S. aureus* dan *B. Subtilis*) sebagai berikut :

1. Penggunaan bakteri eksogen (*S. aureus* dan *B. subtilis*) pada bioremediasi logam Pb di sedimen sungai setu mampu menjadi agen bioremediasi yang baik, dengan persentase penurunan kadar logam tertinggi pada penambahan *S. aureus* 20% dengan persentase penurunan hingga 95,85%.
2. Waktu optimum yang dibutuhkan bakteri eksogen (*S. aureus* dan *B. subtilis*) untuk menurunkan kadar logam Pb sedimen sungai setu Pekalongan masing-masing konsentrasi adalah pada waktu inkubasi 30 hari.

5.2 Saran

Saran yang perlu diberikan setelah melihat dan membaca hasil penelitian ini adalah :

1. Berhati-hati dalam perlakuan bioremediasi karena dikhawatirkan bakteri yang digunakan dapat mencemari lingkungan sekitar proses bioremediasi.
2. Perlu adanya perlakuan khusus terhadap penggunaan bakteri patogen, karena berpotensi menjangkit penyakit pada individu yang terkena.

3. Perlu adanya persiapan bahan antimikroba saat penelitian bioremediasi dengan bakteri, sehingga saat terkena dapat langsung melakukan penanganan pertama sebagai antisipasi.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan metode remediasi lain yang lebih ramah lingkungan dan mudah pada limbah tekstil daerah Kabupaten Pekalongan.



DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S.E., & D.S. Nana. 2010. Pengurangan Konsentrasi Ion Pb dalam Limbah Air Elektroplating dengan Proses Bosorpsi dan Pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1): 1–9.
- Al-ayubi, M. C., H. Baroroh, & D. Candra. 2010. Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal kimia*, 1(2): 1-9.
- Alhasawi, A., J. Costanzi., C. Auger., N.D. Appanna., & V.D. Appanna. 2015. Metabolic Reconfiguration Aimed at The Detoxification of a Multi-Metal Stress In *Pseudomonas fluorescens*: Implications For The Bioremediation of Metal Pollutants. *Journal of Biotechnology*, 200(15): 38-43.
- Arief, M., L. Sulmartiwi, Prayogo, & M. Septi. 2010. Isolasi Bakteri Indigen Sebagai Pendeградasi Bahan Organik pada Media Pembenuhan Ikan Lele Jumbo. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 2(2): 112–118.
- Arifah, S. 2014. Studi Kemampuan *Nannochloropsis Sp.* dan *Chlorella Sp.* Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga Surabaya.
- Ariono, D. 1996. Bioremediasi Logam Berat di Lingkungan Perairan dengan Bantuan Mikroba. *Biota*, 1(2): 23-27.
- Charlena. 2010. Bioremediasi Tanah Tercemar Limbah Minyak Berat Menggunakan Kronsium Bakteri. *Disertasi*. Bogor: IPB.
- Ciccyliona, D., & R. Nawfa. 2012. Pengaruh pH Terhadap Produksi Biosurfaktan oleh Bakteri *Pseudomonas aureginosa* Lokal. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 1(1): 12–19.
- Duc. 2004. Characterization of *Bacillus* probiotic available for human use. *Environment Microbiol*, 70(4): 2161-2171.
- Fajrin, M.N. 2011. *Pengukuran Dan Perhitungan Sel Pemiakan Dan Pertumbuhan Mikroorganisme*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Fakhrudin, M., Y. Gunawan, R. Iwan, & R. Agita. 2008. Pengembangan Model Pengelolaan Daerah Air Sungai Bangor. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV*. Kalimantan Timur.
- Fatimah, F. 2006. Pengaruh pengolahan limbah tekstil PT. apac inti corpora (aic) terhadap kualitas air sungai bade bawen. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Fatimah, N., A.T. Prasetya., & W. Sumarni. 2014. Penggunaan Silika Gel Terionisasi Biomassa *Aspergillus Niger* Untuk Adsorpsi Ion Logam Fe(III). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(2252): 183–187.
- Fitriyah, D., S. Saryono., & J. Christine. 2013. Skrining aktivitas antimikroba dan uji fitokimia dari kapang endofitik tanaman dahlia (*dahlia variabilis*). *Journal of Industrial*, 3(2): 50-55.
- Hapsari, C.A., P. Lutfi., R. Ratu., & R. Novia. 2012. Pengaruh Kelembapan, Temperatur, dan Ph Pada Proses Proses Bioremediasi Menggunakan Bakteri *Bacillus sp. Bulking Agent* Serabut Buah Bintaro. *Jurnal Polusi Tanah dan Air Tanah*, 1(1): 1–9.
- Hardiani, H., T. Kardiansyah., & S. Sugesty. 2011. Bioremediasi Logam Pb Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah *Sludge* Industri Kertas Proses *Deinking*. *Jurnal Selulosa*, 1(1): 31 – 41.
- Hayati, N. 2011. Uji Efektivitas *Wastetreat* Untuk Bioremediasi Logam Berat Dalam *Sludge* Pabrik Kertas *Deinking*. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jackson, V.A., A.N. Paulse., A.A. Bester., J.H. Neethling., S. Khan., & W. Khan. 2009. Bioremediation of Metal Contamination in the Plankenburg River, Wastren Cape, South Africa. *International Bioremediation and Degradation*, 63(9): 559-568.
- Kang, C.K., Y.J Kwon., & J.S. So. 2016. Bioremediation of Heavy Metals by Using Bacterial Mixtures. *Ecological Engineering*, 89: 64-69.
- Kermani, J.B., M.F. Ghasemi., A. Khosravan., A. Farahmand., & M. R. Shakibaie. 2010. Cadmium Bioremediation By Metal-Resistant Mutated Bacteria Isolated From Active Sludge of Industrial Effluent. *Iran Journal Environment Health*, 7(4): 279-286.
- Khoiroh, Z. 2014. Bioremediasi Logam Berat Pb dalam Lumpur Lapindo Menggunakan Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*). *Jurnal Biologi UIN Malang*, 1(50): 1–10.
- Kurniasari, R.M. 2005. Pengaruh Logam Berat Terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme Pendegradasi Minyak Diesel. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Liu, S.H., G.M. Zeng., Q.Y. Niu., Y. Liu., L. Zhou., L.H. Jiang., X.F. Tan., P. Xu., C. Zhang., & M. Cheng. 2016. Bioremediation Mechanisms of Combined Pollution of PAHs and Heavy Metals by Bacteria and Fungi: A Mini Review. *Bioresource Technology*, 7(1): 1-8.

- Lovley, D.R. 1995. Bioremediation of Organic and Metal Contaminants with Dissimilatory Metal Reduction. *Journal of Industrial Microbiology*, 14(9): 85-95.
- Maslukah, L. 2007. Konsentrasi Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Terlarut Dalam Seston, dan dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat Semarang. *Jurnal Sumberdaya Perairan*, 2(1): 1-4.
- Maula, A., N. Hidayat. & S. Anggarini. 2008. Bioremediation Of Chromium From Tannery Wastewater by Isolated Indigenous Bacteria. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 1(1): 1-11.
- Mohseni, M., F. Khosravi., M. Mohajerani., & M. J. Chaichi. 2014. Bioremediation Activity of Pb (II) Resistance *Citrobacter sp.* MKH2 Isolated from Heavy Metal Contaminated Sites in Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 25(2): 105 – 110.
- Mulligan, C.N., & R.G. Cloutier. 2003. Bioremediation of Metal Contamination. *Kluwer Academic Publishers*, 84(3): 45-60.
- Munawar, A. 2012. *Dinamika Obat Farmakologi dan Toksikologi Edisi ke Lima*. Bandung: ITB.
- Muryati, S., & R. Dewi. 2012. *Mikrobiologi Lingkungan dan Terapan*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Mythili, K., & B. Karthikeyan. 2011. Bioremediation of Cr (VI) from Tannery effluent using *Bacillus sp* and *Staphylococcus sp*. *International Multidisciplinary Research Journal*, 1(6): 38-41.
- Nainggolan, P.F.H. 2008. *Kajian Pemanfaatan Lumpur Limbah Water Treatment Pt. Pupuk Kujang Sebagai Media Tanam Arachis Hypogaea dengan Penambahan Mikoriza, Rhizobium, dan Pupuk Bolashi*. Surabaya: FMIPA-ITS.
- Nugroho, A. 2007. Biodegradasi *Sludge* Minyak Bumi dalam Skala Mikrokosmos: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment. *Makar Teknologi*, 8(2): 12-20.
- Pagoray, H. 2009. Biostimulasi dan Bioaugmentasi Untuk Bioremediasi Limbah Hidrokarbon Secara Analisis Keberlanjutan. *Disertasi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Park, J.H., D. Lamb, P. Paneerselvam, G. Choppala, J.W. Chung, & N. Bolan. 2011. Role of Organic Amendments on Enhanced Bioremediation of Heavy Metal (Loid) Contaminated Soils. *Journal of Hazardous Materials*, 1(85): 549-574.

- Pelczar, M.J., & E.C.S. Chan. 2005. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.
- Perdana, J. 2012. Uji Resistensi dan Uji Biodegradasi Logam Berat (Pb, Zn, dan Hg) oleh Isolat Bakteri Lumpur Pantai Kenjeran. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga Surabaya.
- Priadie, B. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1): 38-48.
- Purnamawati, F.S., T.R. Soeprbowati, & M. Izzati. 2015. Potensi *Chlorella vulgaris Beijerinck* dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium. *BIOMA*, 16(2): 1-13.
- Purwoko, T., 2007. *Fisiologi mikroba*. Jakarta: PT Bumu Aksara.
- Ramachandran, P., R. Barria., J. Ashley., & V. Budnik. 2009. A critical step for postsynaptic F-actin organization: Regulation of Baz/Par-3 localization by a PKC and PTEN. *Neurobiol*, 69(9): 583-602.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sharma, J., & M.H. Fulekar. 2009. Potential of *Citrobacter freundii* for Bioaccumulation of Heavy Metal-Copper. *Biology and Medicine*, 1(3): 7-14.
- Suhendrayatna. 2001. Heavy Metal Bioremoval by Microorganism: A Literature Study. *Seminar On-Air Bioteknologi*. Jakarta.
- Tiway, M., & A.K. Dubey. 2016. Cypermethrin Bioremediation In Presence of Heavy Metals by A Novel Heavy Metal Tolerant Strain, *Bacillus sp.* AKD1. *International Biodeterioration & Biodegradation* 108(2016): 42-47.
- Sholikah, U., & K.N. Dwianita. 2013. Uji Potensi Genera *Bacillus* Sebagai Bioakumulator Merkuri. *Jurnal ITS Surabaya*, 1(1): 1-9.
- Sugiyarto, K.H. 2009. *Kimia Anorganik Logam*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Umroh. 2011. Bioremediasi Pencemaran Minyak di Sedimen Pantai Balongan, Indramayu dengan Menggunakan Bakteri *Alkanivorax sp.* TE-9 Skala Laboratorium. *Akuatik*, 5(2): 1-11.
- Wetipo, Y.S., J.C. Mangimbulude., & F.S. Rondonuwu. 2013. Potensi *Chlorella sp* Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat di Air. *Jurnal FKIP UNS Surakarta*, 1(1): 1-5.
- Wongsa, P. & P. Werukhamkul. 2007. Product Development and Technical Service, Biosolution International. Thailand. *Bangkadi Industrial Park*, 134(4): 12-17.

- Yulia, R.L., 2013. Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Skripsi*. Surabaya: ITS.
- Yuliana, N. 2008. Kinetika Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat Isolat T5 Yang Berasal dari Tempoyak. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 13(2): 1-7.
- Yazid, M. 2007. Kajian Pemanfaatan Bakteria Hasil Isolasi Sebagai Agen Bioremediasi Radionuklida Uranium Di Lingkungan. *Prosiding PPI-PDIPTN*. Yogyakarta: BATAN.
- Zille, A., 2005. Laccase Reaction for Textile Application. *Disertasi*. Textile Departement Universidade do Minho.
- Zou, Q., Y. Chen., M. Yang., W. Li., & L. Deng. 2013. Enhanced Bioremediation of Heavy Metal from Effluent by Sulfate-Reducing Bacteria with Copper-Iron Bimetallic Particles Support. *Bioresource Technology*, 136(13): 413-417.

