BIOSORPSI LOGAM BERAT ZINC (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Oleh :

RESYA TAUFIQURAHMAN

NIM. 115080100111036

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

BIOSORPSI LOGAM BERAT ZINC (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU

SKRIPSI
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan
Di Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh :

RESYA TAUFIQURAHMAN
NIM. 115080100111036

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015

SKRIPSI

BIOSORPSI LOGAM BERAT ZINC (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU

Oleh:

RESYA TAUFIQURAHMAN
NIM. 115080100111036

Telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal : 5 Agustus 2015 20

Dosen Penguji I	**Dosen Pembimbing I**
(Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS)	**(Dr. Yuni Kilawati, S.Pi., S.Pi)**
NIP. 19570704 198403 2 001	**NIP. 19730702 200501 2 001**
Tanggal:	**Tanggal:**
Dosen Penguji II	**Dosen Pembimbing II**
(Nanik Retno Buwono, S.Pi., MP)	**(Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc)**
NIP. 19840420 2014 04 002	**NIP. 19790331 200501 1 003**
Tanggal:	**Tanggal:**

Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP,

(Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS)
NIP. 19620805 198603 2 001
Tanggal:

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tulisan pembuatan laporan Skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak pernah terdapat tulisan, pendapat atau bentuk lain yang telah diterbitkan oleh orang lain kecuali tertulis dalam laporan ini di daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan skripsi ini hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 30 Mei 2015
Penulis,

Resya Taufiqurahman

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulilah senantiasa penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT yang telah mengizinkan serta selalu memberikan kenikmatan luar biasa untuk semua umat-Nya. Salawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad. Manusia istimewa yang seluruh perilakunya layak untuk dteladani. Yang seluaruh ucapannya adalah Kebenaran. Yang seluruh getar hatinya adalah kebaikan. Kita berharap semoga kelak beliau mengakui kita sebagai umatnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa begitu banyak pihak yg telah turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Melalui secarik kertas ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- *Jazakumullahu khairan* kepada malaikat dunia saya, kedua orang tua saya atas doa yg selalu terpanjatkan, atas nasehat yang selalu menguatkan dan atas motivasi tanpa mengenal waktu demi keberhasilan putranya.
- Saudara sekandung, Mufidah Khairunisa yang selalu mendoakan meski via telfon dan selalu menunggu kepulangan seorang kakaknya.
- Ibu Dr. Yuni Kilawati S.Pi., M.Si selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan ilmu, mengajarkan kesabaran, dan memotivasi anak biimbingannya untuk menjadi sarjana yang berkualitas di masyarakat.
- Bapak Andi Kurniawan S.Pi., M.Eng., D.Sc selai dosen pembimbing kedua yang telah “Cuma-Cuma” mentransferkan ilmu barunya mengenai biofilm. Terima kasih akan semangat tersirat selama bimbingan, akan pesan kerja kerasnya, serta akan kesederhanaan.

- Ibu Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS dan Ibu Nanik Retno Buwono, S.Pi., MP yang sudah berkenan menjadi penguji dalam sidang skripsi saya sehingga penelitian ini lebih menuju ke kesempurnaan.
- Tim Biofilm (Lutfi Ni'matus, Fandi Putra, Elvandari Jaelani) partner peneltian. Sangat pesimis karena ini riset yang berbeda dan awam sekali, tapi berkat kalian pesimis itu hilang tergantikan oleh sebuah optimis. Dan itu terbukti.
- Sahabat Aquatic Resources Management (ARM) 2011 yang memberikan semangat, nasehat, kritik, masalah, suka, duka, motivasi, cerita, selama 4 tahun ini dan terima kasih masih mengizinkan aku mengemban amanah "kating" samapi penelitian ini selesai. Kalian semua berbeda, karena perbedaan itu aku belajar untuk menjadi pemimpin yg berupaya adil bagi kalian.
- Saudara- saudara *Keluarga 2011* di FPIK, sangat bangga kepada kalian perjuangan kita sebagai mahasiswa aktivis kita jalani, tapi berkat kekeluargaan kita tidak lupa akan perjuangan kita sebagai mahasiswa akademisi. Terima kasih cerita persaudaraan selama ini.
- Adek-adek di Badan Eksekutif Mahasiswa pada khususnya dan adek adek aktivis di Fpik pada umumnya, terima kasih atas doa baiknya dan semangat pengabdian kalian.
- Kawan-kawan di "istana kost" (haryo, surya, mesra, bayu, dan felin) yang sudah mau menemani dan membantu segala keperluan, khususnya selama proses pelaksanaan skripsiselama studi di kota malang ini
- Seluruh Dosen Fakultas perikanan dan Ilmu kelautan yang telah ikhlas untuk mentrasferkan ilmu luar biasanya kepada mahasiswanya.

- Seluruh staf / karyawan di lingkungan FPIK, khusunya laboran laboratorium bioteknolgi perairan dan staf jurusan msp yg sudah membantu penelitian serta membantu proses administrasi menuju kelulusan.
- Fakultas perikanan dan ilmu kelautan, Universitas Brawijaya Malang. Karenanya gelar itu akan diberikan, terima kasih dan terima kasih akan pelajaran, jati diri, *public speaking*, arti sebuah keluarga, pendewasaan diri, *networking*, pengabdian dan perbedaan itu adalah hukum alam.
- Dan seluruh pihak-pihak yang telah membantu dari awal uji pendahuluan, pelaksanaan penelitian, pengerjaan laporan, hadir dalam seminar hasil, memberikan semangat dalam sidang skripsi, serta berkenan memberikan doa dan salam sukses di akhir studi ini.

Semoga Illahi Rabbi akan membalas semua kebaikan-kebaikan kita semua denngan perantara malaikat mulia-Nya. Sekali lagi terima kasih dan mohon maaf atas segala kekurangan

"Yang terlihat belum tentu benar dan yang benar-pun belum terlihat, serta berubah adalah sebuah kepastian dan berubah mennjadi lebih baik itu keputusan."

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya" (2:286)

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

RESYA TAUFIQURAHMAN. Skripsi tentang Biosorpsi Logam Berat Zinc (Zn) Dengan Menggunakan Biofilm Yang Tumbuh Pada Batu (di bawah bimbingan **Dr. Yuni Kilawati, S.Pi., M.Si** dan **Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc**)

Kondisi lingkungan perairan yang memiliki peran sangat penting bagi biota yang hidup didalamnya dan juga manusia semakin mengkhawatirkan. Pencemaran pada lingkungan ini diketahui terjadi di beberapa tempat yang dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama aktifitas manusia. Pembuangan limbah terutama limbah logam berat menjadi salah satu aktifitas yang memiliki dampak sangat buruk bagi lingkungan perairan dan manusia. Salah satunya adalah logam berat jenis Zn yang dapat menimbulkan kematian pada biota yang hidup didalamnya dan mengakibatkan efek biotoksik pada manusia yang dapat menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan cara untuk mencegah terjadinya pencemaran salah satunya adalah dengan pengolahan limbah. Biosorpsi merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah yang menguntungkan. Salah satu adsorban yang banyak mendapat perhatian banyak pihak adalah biofilm. Biofilm merupakan kumpulan mikroorganisme yang melekat pada permukaan benda padat yang berperan sebagai pendaur ulang nutrient dan dapat mengurangi pencemaran perairan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam menyerap logam berat zinc (Zn) dengan waktu dan konsentrasi yang berbeda serta mengetahui karakteristik adsorpsi logam berat zinc (Zn).

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang pada Pebruari-April 2015. Sedangkan analisis logam berat zinc dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan percobaan pada sistem yang dibuat. Sampel biofilm diambil dari batu di perairan waduk Lahor, Kabupaten Malang. Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dengan 3 kali pengulangan. Tahapan pada penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu kinetik adsorpsi dengan perbedaan waktu yang terbagi atas 5, 30, 60, 120 dan 300 menit serta adsorspi isoterm dengan perbedaan konsentrasi yang terbagi atas 15 mM, 17,75 mM, 33,34 mM, 65,74 mM, 131,5 mM dan 259,12 mM.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa biofilm mampu menyerap logam berat Zn. Hal tersebut diketahui berdasarkan akumulasi penyerapan logam Zn pada perlakuan 5 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,70 mM. Konsentrasi Zn pada perlakuan 30 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,73 mM. Selanjutnya pada perlakuan 60 menit, 120 menit, dan 300 menit juga menurun drastis dari 15 mM masing-masing menjadi 1,66 mM, 1,76 mM dan 1,80 mM. Lebih lanjut pada pengaruh konsentrasi yang berbeda didapatkan akumulasi penyerapan logam Zn pada perlakuan 15 mM sebesar 0,64 mmol/gr. Selanjutnya pada perlakuan 17 mM sebesar 1,35 mmol/gr. Setelah itu pada perlakuan 33 mM, 68 mM, 131 mM dan 260 mM masing - masing diperoleh akumulasi Zn pada biofilm adalah sebesar 2,75 mmol/gr, 5,91 mmol/gr, 12,02 mmol/gr dan 24,32 mmol/gr.

Berdasarkan penelitian didapatkan kesimpulan bahwa biofilm mampu menyerap logam berat zinc. Hal tersebut diketahui karena menurunnya konsentrasi logam berat zinc pada air sekitar biofilm dan ditemukan adanya

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

konsentrasi logam berat zinc pada sampel biofilm. Kemampuan biofilm dalam menyerap logam berat zinc pada waktu 5-300 menit relatif sama. Berdasarkan perbedaan konsentrasi yaitu 15 mM – 259,12 mM, penyerapan logam berat Zn oleh biofilm meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang diberikan. Karakteristik penyerapan logam berat Zn oleh biofilm diketahui melalui mekanisme penyerapan *passive uptake*. Proses penyerapan diperkirakan terjadi melalui proses interaksi muatan listrik dan mekanisme pertukaran ion.

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil peneltian mengenai biosorpsi logam berat zinc dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu, diharapkan dapat menjadi acuan atau bahan pertimbangan dalam melakukan *water treatment.*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyajikan laporan skripsi yang berjudul Biosorpsi Logam Berat Zinc (Zn) Dengan Menggunakan Biofilm Yang Tumbuh Pada Batu**.** Di dalam tulisan ini, disajikan karakteristik penyerapan logam berat Zn oleh biofilm.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih diarasakan banyak kekurang tepatan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang menyumbang agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, 30 Mei 2015

Penulis,

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN i
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR LAMPIRAN viii

1. PENDAHULUAN 1
   1.1 Latar Belakang 1
   1.2 Rumusan Masalah 3
   1.3 Tujuan 3
   1.4 Hipotesis 4
   1.5 Manfaat 4
   1.6 Waktu dan Tempat 4

2. TINJAUAN PUSTAKA 5
   2.1 Pencemaran 5
   2.2 Logam Berat 6
   2.3 Logam Zinc 7
   2.4 Biofilm 7
   2.5 Pembentukan Biofilm 9
   2.6 Biosorpsi 10
      2.6.1 Kinetik Adsorpsi 11
      2.6.2 Adsorpsi Isoterm 12
   2.7 Parameter Kualitas Air 13
      2.7.1 Suhu 13
      2.7.2 pH 14

3. METODE PENELITIAN 15
   3.1 Lokasi Penelitian 15
   3.2 Materi Penelitian 15
   3.2 Alat dan Bahan 16
   3.4 Metode Penelitian 16
   3.5 Analisis Data 16
   3.6 Tahapan Penelitian 17
      3.6.1 Persiapan Sampel 17
      3.6.2 Pembuatan Larutan Induk 18
      3.6.3 Penentuan Kinetik Adsorpsi 18
      3.6.4 Penentuan Adsorpsi Isoterm 19
   3.7 Analisis Logam Berat Zn 22

4. HASIL DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian 23
4.1.1 Sejarah Waduk Lahor 23
4.1.2 Letak Geografis dan Kondisi Waduk Lahor 23
4.1.3 Manfaat dan Tujuan Pembangunan Waduk Lahor 24
4.2 Hasil Penelitian Pada Biofilm 24
4.2.1 Kinetik Adsorpsi 25
4.2.2 Adsorpsi Isoterm 27
4.3 Karakteristik Biosorpsi 32

5. KESIMPULAN DAN SARAN 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 35

DAFTAR PUSTAKA 36

LAMPIRAN 42

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

Tabel 1. Akumulasi Penyerapan Logam Zn Pada Konsentrasi Awal yang Berbeda. Eksperimen diulang sebanyak 3 kali..... 28

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

Gambar 1. Biofilm Yang Tumbuh Di Batu 9

Gambar 2. Akumulasi Penyerapan Logam Berat Zn oleh Bioflm..... 25

Gambar 3. Hasil Pengukuran Electrophoretik Mobility (EPM) 27

Gambar 4. Hasil Penyerapan Logam Berat Zn Pada Konsentrasi Berbeda 28

Gambar 5. Adsorpsi Isoterm Zn oleh Biofilm..... 29

Gambar 6. Konsentrasi Keseimbangan Logam Zn di Biofilm. Penelitian diulang 3 kali, bar menunjukkan Standar Deviasi. 31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Alat dan bahan.....42
2. Data teknis waduk lahor.....43
3. Data perhitungan 45
4. Analisis perhitungan regresi dengan SPSS.....49

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan perairan secara prinsip merupakan permasalahan yang sangat penting, hal tersebut dapat dipahami dengan melihat peranan penting air di dalam kehidupan manusia dan juga makhluk hidup lainnya. Oleh manusia air dipergunakan untuk keperluan sehari-hari, untuk mengairi sawah, ladang, industri dan berbagai keperluan lainnya, sedangkan untuk makhluk lainnya, salah satu peranan penting air adalah sebagai media hidup (Wardhana, 2004). Penurunan kualitas lingkungan perairan akibat bahan pencemar, dapat berpengaruh pada biota perairan yang ada di dalamnya. Sehingga berdampak pada kehidupan manusia yang ketergantungannya terhadap lingkungan perairan sangat besar. Jika kondisi ini dibiarkan, kedepan akan memperburuk kondisi lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia akibat meningkatnya status pencemaran pada biota perairan (Makkasau *et al*., 2011).

Istilah pencemaran air atau polusi air cenderung semakin mengemuka sekarang ini dan mungkin di masa mendatang, mengingat masalah penurunan kualitas air semakin dirasakan oleh masyarakat pada umumnya. Pencemaran air pada lingkungan hidup di masyarakat, dapat diakibatkan oleh banyak hal, terutama yang berkaitan dengan aktifitas hidup manusia (Said dan Firly, 2005). Materi pencemar yang ada dalam perairan terbagi menurut bentuknya dan menurut komposisinya. Materi pencemar menurut bentuknya yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dimaksud adalah bahan buangan yang berbentuk padat, baik kasar (butiran besar) maupun yang halus (butiran kecil). Sedangkan limbah cair adalah berupa sabun, insektisida, zat warna kimia, larutan penyamak kulit dan radioaktif. Materi pencemar menurut

komposisinya terbagi menjadi limbah organik dan limbah anorganik. Bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme. Sedangkan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit terdegradasi oleh mikroorganisme (Wardhana, 2004).

Limbah logam berat yang berada di lingkungan perairan sangat membahayakan lingkungan maupun organisme, termasuk manusia. Logam berat berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan efek biotoksik pada manusia yang dapat menimbulkan penyakit akut maupun kronis (Ghifari, 2011).

Menurut Forstner dan Prosi (1978), faktor yang menyebabkan logam berat dikelompokkan ke dalam zat pencemar adalah karena logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik, dan logam berat dapat terakumulasi ke dalam lingkungan terutama dalam sedimen sungai dan laut. Logam berat yang sering menyebabkan pencemaran air adalah Hg, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, dan Cd.

Akhir-akhir ini telah dikembangkan suatu metode alternatif pengolahan limbah industri yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan yaitu proses pengolahan limbah dengan menggunakan makhluk hidup seperti mikroorganisme, yang biasa dikenal dengan biosorpsi. Biosorpsi mempunyai keuntungan antara lain murah dan efisien. Salah satu metode biosorpsi adalah dengan menggunakan mikroorganisme yang melekat pada suatu permukaan dengan membentuk biofilm (Chasanah, 2007).

Biofilm mempunyai beberapa peranan penting di lingkungan perairan yaitu sebagai pendaur ulang nutrien dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan perairan (Tsuchiya *et al*., 2009). Biofilm juga dilaporkan mempunyai beberapa peran diantaranya, sebagai pendaur ulang nutrien, sebagai kolam gen bakteri, dan juga dapat digunakan untuk mengurangi polutan di perairan

(Kurniawan *et al*., 2012; Kurniawan, 2015). Penggunaan biofilm yang tumbuh di lingkungan perairan masih sangat jarang dilakukan meskipun biofilm diyakini memiliki potensi untuk digunakan sebagai biosorben (Kurniawan dan Yamamoto, 2013).

Salah satu logam berat yang sangat toksik adalah zinc (Zn). Zn yang masuk ke dalam perairan salah satunya dipengaruhi oleh aktifitas manusia seperti kegiatan pembuangan limbah industri dan limbah rumah tangga. Jika dalam suatu perairan kandungan Zn tinggi, maka akan memberikan dampak negatif kepada organisme perairan.

Penelitian mengenai biosorpsi logam berat zinc (Zn) dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu dinilai sangat penting karena hal ini nantinya diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif *water treatment* untuk mengurangi pencemaran perairan khususnya pencemaran yang disebabkan oleh logam berat seperti Zn.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya maka dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini yaitu:

1. Apakah biofilm mampu menyerap logam berat zinc?
2. Berapa kemampuan biofilm dalam pengakumulasian logam berat zinc ?
3. Bagaimana karakteristik penyerapan logam berat zinc oleh biofilm?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat zinc.
2. Untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat zinc pada waktu dan konsentrasi yang berbeda.

3. Untuk mengetahui karakteristik adsorpsi logam berat zinc oleh biofilm.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- Ho : Diduga bahwa biofilm tidak mampu menyerap logam berat zinc.
- H1 : Diduga bahwa biofilm mampu menyerap logam berat zinc.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Mahasiswa

Menambah pengetahuan dan wawasan tentang biosorpsi logam berat zinc dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu.

2. Progam Studi Manajemen Sumberdaya Perairan

Bagi Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, dapat dijadikan sumber informasi keilmuan mengenai pentingnya pengolahan limbah logam berat zinc (Zn) dalam usaha meminimalisir terjadinya pencemaran di perairan.

3. Pemerintah

Menambah sumber informasi dan rujukan dalam menentukan kebijakan dan pengelolaan limbah industri khususnya logam berat serta peningkatan dan pengembangan *water treatment* dengan menggunakan biofilm.

1.6 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang pada Pebruari-April 2015. Sedangkan analisis logam berat zinc dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran

Pencemaran lingkungan adalah perubahan lingkungan yang tidak menguntungkan, sebagian karena tindakan manusia, disebabkan oleh perubahan pola penggunaan energi dan materi, tingkatan radiasi, bahan-bahan fisika dan kimia, dan jumlah organisme. Perubahan ini dapat mempengaruhi manusia baik secara langsung ataupun tidak langsung melalui air, hasil pertanian, peternakan, perilaku dalam apresiasi dan rekreasi di alam bebas (Sastrawijaya, 2000).

Substansi pencemar dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: (1) polutan fisik, yaitu polutan yang keberadaannya ataun karakter fisiknya menyebabkan pencemaran. Contohnya adalah padatan tersuspensi, kegiatan pengerukan pelabuhan dan proses sedimentasi di muara sungai; (2) polutan biologis, yaitu polutan yang berupa makhluk hidup, misalnya mikroorganisme dari limbah domestik berupa buangan sanitasi atau tinja dan dari industri pengolahan makanan; (3) polutan kimia, yaitu polutan yang memiliki struktur kimia tidak stabil dan cenderung bereaksi dengan zat lain, misalnya pestisida, pupuk, minyak, limbah makanan dan minuman jenis anorganik (misalnya asam, alkali dan logam berat-logam berat dari industri) (Mukhtasor, 2007).

Pencemaran air akibat kontaminasi logam berat dapat menyebabkan turunnya kualitas air selain itu juga dapat meracuni manusia. Salah satu cara untuk mengurangi pencemaran air akibat logam berat yaitu dengan pemanfaatan biota air (Rondonuwu, 2014). Saat ini upaya pengendalian pencemaran air pada umumnya dilakukan melalui teknologi pencegahan dan penanggulangan pencemaran air dengan pemilihan teknologi yang mempertimbangkan karakteristik air limbah dan standar kualitas efluen-nya. Teknologi yang dipilih

diharapkan mampu mengubah kualitas efluen (*effluent-standard*) sehingga dapat memenuhi standar kualitas badan air penerima (*stream-standard*) yang dapat diaplikasikan secara maksimal agar dapat melindungi lingkungan serta memberikan toleransi bagi pembangunan industri (Priadie, 2012).

2.2 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul yang tinggi, mempunyai daya hantar panas listrik yang tinggi dan memiliki densitas >5 gr/cm^3. Dalam susunan berkala unsur-unsur (sistem periodik) memiliki nomor atom 22 hingga 93 pada periode 3 sampai dengan periode 7 disebut logam berat (Hutagalung *et al*., 1997).

Keausan geologis, industri logam, industri bahan tambang, pemakaian logam, pemakaian senyawa-senyawa logam, ekskresi manusia atau hewan, dan sampah padat merupakan sumber logam berat yang dapat mencemari air. Logam-logam berat tidak dapat mengalami pemecahan secara biologis seperti halnya pencemar-pencemar organik nonplastik adalah faktor yang menunjang sukar hilangnya logam-logam berat dalam air. Logam berat mengadakan persekutuan bersama senyawa-senyawa organik yang menyebabkan logam berat cenderung mengendap di dasar perairan (Sumardjo, 2006).

Logam berat sejatinya unsur penting yang dibutuhkan setiap makhluk hidup. Sebagai *trace element*, logam berat yang esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), besi (Fe) dan zinc (Zn) penting untuk menjaga metabolisme tubuh manusia dalam jumlah yang tidak berlebihan, jika berlebihan akan menimbulkan toksik pada tubuh. Logam yang termasuk elemen mikro merupakan kelompok logam berat yang nonesensial yang tidak mempunyai fungsi sama sekali dalam tubuh. Logam tersebut bahkan sangat berbahaya dan dapat menyebabkan

keracunan (toksik) pada manusia. Contoh dari logam berat jenis ini yaitu: timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd) (Agustina, 2010).

2.3 Logam Zinc

Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh, akumulasi logam berat menyebabkan tingginya konsentrasi logam berat tersebut di dalam tubuh. Beberapa diantaranya dapat bersifat karsinogen. Demikian pula dengan bahan pada kandungan logam berat tinggi dianggap tidak layak konsumsi. Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esesensial yang sangat dibutuhkan setiapa makhluk hidup, namun beberapa diantaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun (Ridhowati,2013).

Zinc (Zinc) adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, nomor atom 30 dan massa atom relatif 65,39. Zinc tidak diperoleh dengan bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat. Mineral yang mengandung zinc dialam bebas antara lain kalamin, franklinit, smithsonit, willenit dan zinkit (Kancaribu,2008).

Logam berat seperti zinc (Zn) merupakan zat kimia berbahaya jika masuk ke dalam air. Hal ini karena dengan konsentrasi rendah pun bisa mengakibatkan keracunan, terutama pada hewan air seperti ikan, rajungan, kerang, dan hewan air lainnya (Suriawiria, 1996).

2.4 Biofilm

Menurut Das *et al*., (2012), secara umum biofilm dapat didefinisikan sebagai agregasi bakteri, ganggang, jamur dan protozoa yang tertutup dalam matriks yang terdiri dari campuran senyawa polimer terutama polisakarida dan umumnya disebut sebagai *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). Biofilm secara umum terbentuk pada permukaan benda padat berada didalam atau

terkena air. Sedangkan menurut Davies *et al.,* (1998), biofilm juga merupakan sebutan bagi bakteri di alam yang hidup sebagai komunitas *sessile* (menetap). Komunitas-komunitas ini mengembangkan struktur yang secara morfologis dan fisiologis dibedakan dari bakteri yang hidup bebas. Bakteri-bekteri tersebut berkomunikasi membentuk kelompok makroskopik yang terstruktur. Biofilm terdiri dari komunitas bakteri dan makhluk hidup lainnya.

Mayoritas bakteri (menguntungkan ataupun tidak) seringkali dijumpai dalam bentuk biofilmnya. Biofilm dapat terdiri dari satu spesies mikroba atau beberapa spesies mikroba dan dapat terbentuk pada berbagai permukaan seperti permukaan biotik dan abiotik (Hanum *et al.,* 2013). Sebagian besar lingkungan biofilm dengan campuran spesies lebih mendominasi dibandingkan dengan biofilm yang terdiri dari satu spesies. Biofilm pertama kali dipelajari pada beberapa dekade yang lalu atau tepatnya pada tahun 1943 oleh Henrici pada jurnalnya dimana ia menyatakan "…cukup jelas bahwa sebagian besar bakteri air bukan organisme yang mengambang bebas tapi tumbuh pada permukaan substrat" (Toole *et al.*, 2000).

Biofilm tersusun atas mikroba dan EPS yang terdiri atas 50–90% dari total karbon organik dari biofilm itu sendiri dan dapat dinyatakan sebagai materi utama dari biofilm (Goldman dan Horne, 1983). Menurut Ketut dan Nyoman (2013), ada dua bagian penting dari EPS sebagai efek penanda pada biofilm. Pertama, komposisi dan struktur dari polisakarida mengindikasikan konformasi utama mereka. Kedua, EPS dari biofilm secara umum tidak sama tergantung kondisi dari bakteri itu sendiri.

Gambar 1. Biofilm yang Tumbuh di Batu

2.5 Pembentukan Biofilm

Menurut Annachhatre dab Bhamidimarri (1992), pembentukan biofilm berasal dari organisme planktonik yang mengambang bebas. Sel plaktonik tersebut terlebih dahulu berinteraksi dengan permukaan dan kemudian melekatkan diri ke permukaan. Permukaan yang terendam oleh larutan atau air bias any.a memiliki konsentrasi dan muatan anorganik dan organik yang bersifat polar. Konsentrasi kation, glikoproten dan molekul organik yang berada di permukaan suatu substrat relatif memberikan asupan bagi bakteri dibandingkan dengan wilayah kolom perairan.

Biofilm merupakan pertumbuhan mikroorganisme secara terstruktur pada permukaan padatan sehingga membentuk lapisan tipis. Pembentukan biofilm bakteri secara umum melalui 3 tahapan proses, yaitu tahap pelekatan bakteri pada permukaan padatan, kolonisasi, dan tahap pertumbuhan biofilm (Prakash *et al*., 2003). Menurut Ketut dan Nyoman, (2013), pembentukan biofilm melalui 3 tahapan proses, yaitu tahap pelekatan pada permukaan padatan, kolonisasi, dan tahap pertumbuhan biofilm. Proses pembentukan biofilm pada tahap pelekatan, mikroba mendekati permukaan melalui gaya elektrostatik maupun gaya fisika.

Pada umumnya, ketersediaan nutrisi, suhu air dan laju alir cairan yang memadai serta karakteristik bakteri seperti adanya flagela dan permukaan sel yang terasosiasi dengan polisakarida atau protein mempercepat proses pelekatan. Setelah mikroba berasosiasi satu sama lainnya membentuk mikrokoloni.

Menurut Simoes. *et al*., (2008) *dalam* Buana dan Wardani (2014), biofilm merupakan suatu bentuk adaptasi bakteri yang menempel pada suatu permukaan, berkoloni dan menyelubungi dirinya sendiri dalam suatu matriks. Dalam perkembangannya, biofilm di lingkungan perairan mengalami perubahan komposisi dimana komponen biofilm berkembang menjadi terdiri dari agregasi bakteri, ganggang, jamur dan protozoa (Das *et al.,* 2012)

2.6 Biosorpsi

Menurut Volesky (2010) biosorpsi adalah bagian tertentu dari biomassa mikroba yang tidak aktif atau mati yang digunakan untuk mengikat dan menyerap logam berat bahkan dari larutan air yang sangat encer. Bagian dari biomassa ini bertindak seperti zat kimia, sebagai penukaran ion secara biologis. Hal ini terutama terjadi pada struktur dinding sel ganggang tertentu, jamur dan bakteri yang ditemukan bertanggung jawab atas hal ini. Sedangkan menurut Kumar (2004) *dalam* Nafie *et al.,* (2009) biosorpsi merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan penghilangan logam berat melalui pengikatan pasif pada biomassa tumbuhan atau mikroorganisme yang tidak hidup dari larutannya dalam air.

Pencarian teknologi baru yang melibatkan penghilangan logam beracun dari air limbah telah mengarah ke biosorpsi. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan biologis untuk menumpuk berat logam dari air limbah melalui metabolik dimediasi atau jalur fisika kimia serapan (Fourest dan Roux, 1992 *dalam* Narasimhulu dan Rao, 2009). Keuntungan utama dari biosorpsi antara lain biaya rendah, efisiensi tinggi, minimalisasi kimia dan biologi, tidak ada

persyaratan nutrisi tambahan, regenerasi biosorben dan kemungkinan pemulihan logam berat (Kratochvil dan Volesky, 1998).

Menurut Suhendrayat (2001) *dalam* Onrizal (2005), mekanisme penyerapan dapat digolongkan menjadi dua, yaitu *passive uptake* dan *active uptake*. *Passive uptake* dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion di mana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan *functional groups* seperti *carbonyl, amino, thiol, hydroxy, phosphate, dan hydroxy-carboxyl* yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak baik dan cepat. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomass. Sedangkan menurut Sunarya (2006), *active uptake* dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau/dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekresi pada tingkat ke dua. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dll. Disamping itu proses ini dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat-penghambat metabolisme sel.

2.6.1 Kinetik Adsorpsi

Menurut Sukardjo (1990), kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair,

mempunyai gaya tarik ke arah dalam, karena tidak ada gaya-gaya lain yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi.

Kinetika adosrpsi dibutuhkan untuk menentukan mekanisme dan laju adsorpsi suatu media. Salah satu tujuan utama penelitian kinetik adsorpsi ini adalah untuk menentukan model yang cocok untuk kinetika adsorpsi suatu logam (Hidayati *et al*., 2013). Kinetika adsorpsi menggambarkan laju pengambilan adsorbat oleh adsorben pada bertambahnya waktu kontak merupakan salah satu parameter yang menggambarkan efisiensi adsorpsi (Sulastri *et al*., 2015).

2.6.2 Adsorpsi Isoterm

Adsorpsi isoterm merupakan adsorpsi atau penyerapan yang menggambarkan hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi berbeda pada suhu yang konstan (Tchobanoglous *et al*., 1991 *dalam* Kusmiyati *et al*., 2009). Menurut Apriliani (2010), isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji oleh Freundlich, Langmuir, serta Brunauer, Emmet dan Teller (BET).

Menurut Koumanova dan Antova (2002), hubungan kesetimbangan antara potensial kimia adsorbat dalam gas atau cairan dan potensial kimia adsorbat di permukaan adsorben pada suhu tetap dikatakan sebagai isoterm adsorpsi. Kesetimbangan tercapai jika laju pengikatan adsorben terhadap adsorbat sama dengan laju pelepasannya.

2.7 Parameter Kualitas Air

2.7.1 Suhu

Suhu adalah salah satu faktor penting bagi kehidupan organisme, karena suhu mempengaruhi baik aktifitas metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme-organisme tersebut (Hutabarat dan Evans, 1985). Menurut Effendi (2003), nilai suhu suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah waktu dalam hari, penutupan awan, musim, sirkulasi udara dan ketinggian dari permukaan laut. Suhu disuatu perairan memiliki pengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi perairan tersebut. Suhu juga sangat berperan dalam mengendalikan ekosistem perairan, sehingga organisme disuatu perairan memiliki kisaran suhu tertentu untuk hidup.

Menurut Ajma *et al.*, (2003) *dalam* Sunarya (2006), melaporkan peningkatan kapasitas biosorpsi seiring dengan meningkatnya suhu, sedangkan Cruz (2004) *dalam* Sunarya (2006) mengatakan penurunan kapasitas biosorpsi seiring dengan meningkatnya suhu. Walaupun pengaruh suhu ini kurang begitu jelas tetapi tetap harus dilakukan. Menurut Palar (2004), kenaikan suhu akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sedangkan saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja dan kemudian mengendap lagi.

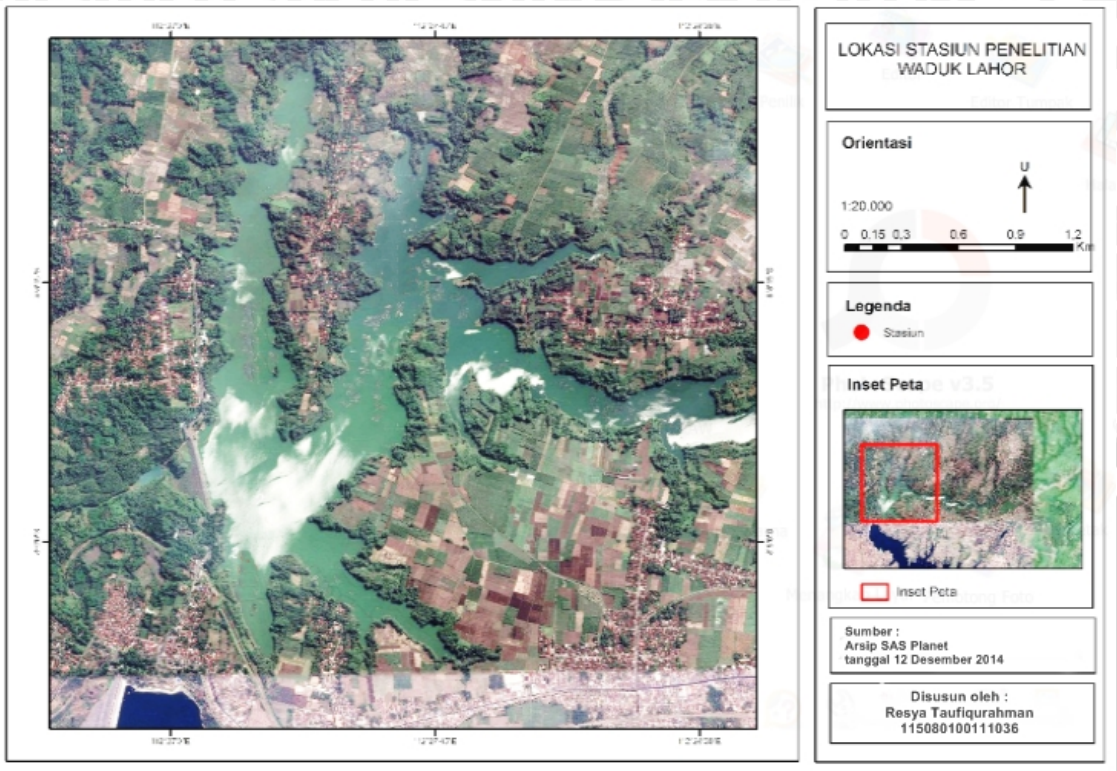
2.7.2 pH

Salah satu parameter kimia yang turut mempengaruhi kandungan logam berat dalam perairan adalah derajat keasaman (pH) (Maslukah, 2006). Menurut Effendi (2003), nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Organisme akuatik umumnya sensitif terhadap perubahan nilai pH dan menyukainya nilai pH sekitar 7 – 8,5.

Derajat keasaman (pH) dalam sistem perairan merupakan suatu peubah yang sangat penting. Ia juga memepengaruhi konsentrasi logam berat di perairan (Chester, 1990 *dalam* Maslukah, 2006). Menurut Hutagalung (1991) *dalam* Panjaitan (2009), penurunan pH serta naiknya suhu menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar karena ketersediaan logam berat tersebut semakin meningkat. Dalam lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik, dan ion kompleks. Kelarutan logam berat dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam berat dalam air. Kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada perairan, sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Palar, 2004).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 6. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di waduk Lahor, Desa Karangkates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Lampiran 2. waduk Lahor letaknya berdekatan dengan waduk Sutami dan waduk Karangkates. waduk ini memiliki luas DAS 170 km^2 dan luas genangan 2.63 km^2 (Perum Jasa Tirta I, 2000).

3.2 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah biofilm dan logam berat zinc (Zn) sebagai pengenalan tentang kemampuan biofilm dalam menyerap bahan pencemar khususnya zinc. Dari materi penelitian tersebut diperlukan analisis

beberapa faktor lingkungan pendukung dalam hal ini faktor fisika seperti suhu dan faktor kimia seperti pH.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan dalam Lampiran 1.

3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimental. Menurut Hanafiah (2008), eksperimen atau percobaan adalah suatu tindakan coba-coba (*trial*) yang dirancang untuk menguji keabsahan (*validity*) dari hipotesis yang diajukan. Percobaan merupakan suatu alat penelitian yang digunakan untuk menyelidiki sesuatu yang belum diketahui atau untuk menguji suatu teori (*principle*) atau hipotesis.

Metode eksperimen dilakukan dengan memberikan *treatment* (perlakuan) yang berbeda pada setiap grup sampel. Dengan adanya *treatment* yang berbeda, maka reaksi yang terjadi akan berbeda. Jadi inti dari metode eksperimen adalah “what if” = apa yang terjadi apabila dilakukan perubahan pada setiap grup sampel. Sedangkan dalam metode ilmiah, eksperimen adalah suatu set tindakan dan pengamatan, yang dilakukan untuk mengecek atau menyalahkan hipotesis atau mengenali hubungan sebab akibat antara gejala. Eksperimen adalah tindakan pertama dalam cara empiris terhadap pengetahuan (Veronica, 2009).

3.5 Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis regresi. Analisis regresi adalah mengukur kekuatan hubungan antara dua peubah, yaitu x dan y melalui sebuah bilangan yang disebut koefisien, dilambangkan dengan r.

Nilai r mengukur sejauh mana titik-titik menggerombol sekitar sebuah garis lurus, jika nilai r mendekati +1 atau -1 maka hubungan antara kedua peubah itu kuat dan dapat dikatakan terdapat korelasi yang tinggi antara keduanya, tetapi bila nilai r mendekati 0, hubungan linear x dan y sangat lemah atau mungkin tidak ada sama sekali (Walpole, 1995). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel terikat. Kelebihan dari analisis ini dapat membantu penjelasan secara statistik dan perhitungan yang dilakukan sederhana (Suhardjo, 2013). Berikut ini adalah rumus persamaan regresi menurut Trihendradi (2004):

$$Y=a+bX$$

Keterangan:

Y = variabel dipendent

X = variabel independent

a = konstanta, perpotongan garis pada sumbu y

b = koefisien regresi

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah biofilm yang tumbuh pada permukaan batu di Waduk Lahor, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Untuk menyiapkan biofilm, batu sebagai media tumbuh di letakkan di Waduk Lahor pada kedalaman ± 70 cm selama 1 bulan. Karakteristik batu yang digunakan untuk menumbuhkan biofilm adalah permukaan batu luas dan kasar, dengan tujuan agar biofilm lebih banyak tumbuh lalu diletakkan di pinggiran waduk agar mudah untuk diambilnya kembali. Setelah 1 bulan, batu yang tertutupi biofilm dimasukkan ke plastik kontainer berisi air disekitar batu (± 30 cm) dan dibawa ke

Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan dalam boks es dengan suhu ± 4^0C.

3.6.2 Pembuatan Larutan Induk

Larutan induk Zn^{2+} 800 mM, dibuat dengan cara melarutkan 64 g serbuk zinc sulfat (ZnSO4) dengan aquades sampai volume 500 ml.

3.6.3 Kinetik Adsorpsi

Penelitian kinetik adsorpsi ini dilakukan untuk menentukan tetapan laju adsorpsi yang didasarkan pada data pengaruh waktu terhadap jumlah logam berat zinc (Zn) yang teradsorpsi oleh biofilm.

Kinetika reaksi merupakan ilmu yang mempelajari proses reaksi dan bagaimana prosesnya berlangsung. Laju reaksi merupakan bagian dari kinetika reaksi. Laju reaksi merupakan perubahan konsentrasi pereaksi terhadap waktu. Tidak semua reaksi kimia dapat dipelajari kinetiknya. Reaksi-reaksi yang berlangsung sangat cepat seperti reaksi-reaksi ion dan reaksi pembakaran sulit dipelajari kinetiknya (Cahyonugroho,2007).

Adapun prosedur dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Disiapkan batu yang sudah ditumbuhi biofilm dan memiliki ukuran realtif sama.
2. Ditimbang toples yang berisi aquadest sebanyak 40 ml.
3. Disikat batu secara perlahan dan satu arah untuk melepaskan biofilm dari batu dengan menggunakan sikat gigi di dalam 40 ml aquadest.
4. Berat biofilm dihitung dari selisih berat toples dan aquadest sebelum dan sesudah biofilm dimasukkan.
5. Dimasukkan larutan biofilm dan aquadest 40 ml kedalam Erlenmeyer yang berisi 260 ml aquadest.

6. Kemudian dihomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 700 rpm.
7. Setelah itu, diambil 30 ml larutan untuk dianalisis kandungan logam berat zincnya dan dijadikan sebagai t0 (untuk mengetahui kandungan Zn sebelum perlakuan).
8. Dimasukkan larutan logam berat zinc (Zn) 30 ml dengan konsentrasi 150 mM.
9. Setelah logam zinc (Zn) dimasukkan, kemudian diambil larutan sebanyak 30 ml untuk dianalisis pada waktu 5 menit. Dilakukan perlakuan yang sama pada menit ke-30, 60, 120 dan 300, setelah memasukkan larutan Zn.
10. Kemudian di masukkan ke dalam cuvet larutan yang diambil 30 ml pada menit ke-5, 30, 60, 120, 300. Setelah itu di sentrifuge selama 10 menit.
11. Memisahkan supernatant dan pellet, supernatant diambil untuk dianalisis kandungan Zn.

Pengukuran kadar logam berat dalam larutan sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS). Percobaan diulangi selama tiga kali dengan tiga perlakuan yang sama.

3.6.4 Adsorpsi Isoterm

Penelitian adsorpsi isoterm dilakukan untuk mengetahui akumulasi logam berat zinc di biofilm pada konsentrasi logam berat zinc (Zn) yang berbeda. Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji oleh Freundlich dan Langmuir. Tipe isoterm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi satu lapisan. Kimisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara sisi aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan

dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben mampu mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Apriliani, 2010).

Model isotherm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa perrmukaan adsorben terdiri atas situs adsopsi di mana semua adsorbat hanya teradsorpsi pada situs aktif dan tidak terjadi interaksi antar adsorbat, sehingga yang terbentuk adalah lapisan adsorpsi monomolukuler di mana jumlah molekul yang teradsorpsi tidak akan melebihi jumlah situs aktif (Sriyanti *et al*., 2005).

Penelitian adsorpsi ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar akumulasi logam berat zinc (Zn) yang dapat terserap oleh biofilm berdasarkan konsentrasi yang berbeda dengan menggunakan 5 konsentrasi. Adapun prosedur dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Disiapkan batu yang sudah ditumbuhi biofilm, yang memiliki ukuran relatif sama.
2. Ditimbang toples yang berisi aquadest sebanyak 40 ml.
3. Disikat batu secara satu arah untuk melepaskan biofilm dari batu dengan menggunakan sikat gigi di dalam 40 ml aquadest.
4. Berat biofilm dihitung dari selisih berat toples dan aquadest sebelum dan sesudah biofilm dimasukkan.
5. Dimasukkan larutan biofilm dan aquadest 40 ml ke dalam erlenmeyer yang berisi 260 ml aquadest.
6. Kemudian dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 700 rpm.
7. Setelah itu diambil 30 ml larutan untuk dianalisi kandungan logam berat zinc (Zn) dan dijadikan sebagai t0 (untuk mengetahui kandungan Zn sebelum perlakuan).

8. Dimasukkan larutan logam berat zinc (Zn) 30 ml dengan konsentrasi 150 mM.
9. Setelah logam zinc (Zn) dimasukkan, kemudian diambil larutan sebanyak 30 ml untuk dianalisis, kemudian dimasukkan lagi bahan pencemar sebanyak 30 ml dengan konsentrasi 310 mM selanjutnya dilakukan perlakuan yang sama dengan menggunakan konsentrasi 630 mM, 1250 mM, 2500 mM, dan 5000 mM.
10. Kemudian di masukkan ke dalam cuvet semua larutan yang diambil 30 ml pada konsentrasi 150 mM, 310 mM, 630 mM, 1250 mM, 2500 mM dan 5000 mM. Setelah itu di sentrifiuge selama 7 menit.
11. Diambil supernatant dari masing-masing cuvet untuk dianalisis kandungan logam berat zincnya sedangkan pelletnya diambil lalu dimasukkan kembali ke dalam erlenmeyer.

Pengukuran kadar logam berat dalam larutan sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS). Percobaan diulangi selama tiga kali dengan tiga perlakuan yang sama.

3.6.5 Pengukuran Kualitas Air

a. Suhu

Prosedur pengukuran suhu menurut Kordi dan Tancung (2005), adalah:

1. Mencelupkan termometer ke dalam media kultur.
2. Membiarkan 1-2 menit agar keadaannya konstan.
3. Mengangkat dan membaca besarnya suhu pada skala thermometer.

b. Derajat Keasaman (pH)

Prosedur pengukuran pH menurut Bloom (1998), adalah:

1. Mengkalibrasi pH meter terlebih dahulu dengan larutan penyangga.

2. Mencelupkan pH meter ke dalam air media beberapa saat.

3. Membaca angka yang tertera pada alat tersebut.

3.7 Analisis Logam Berat Zn

Pengukuran logam berat zinc dilakukan di Laboratorium Lingkungan Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Adapun prosedur pengukuran logam berat zinc (Zn), sebagai berikut:

1. Timbang contoh ±2gr, masukan kedalam cawan porselen.
2. Masukan kedalam tanur panaskan pada suhu ±700°C (sejenis daun,akar,batang kayu) ±2jam sampai abu.
3. Dinginkan, tambahkan 5mL larutan aquaregia (3HCl; 1HNO_3) panaskan diatas kompor listrik sampai asat, dinginkan.
4. Tambahkan larutan HNO_3 encer (2,5N) sebanyak 10mL, panaskan diatas kompor listrik perlahan-lahan ±5menit sambil diaduk dengan pengaduk gelas.
5. Saring kelabu 100mL dan tambahkan aquadest sampai tanda batas, kocok sampai homogen.
6. Kemudian baca dengan AAS dengan memakai katode (lampu) yang sesuai dan catat absorbansinya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai Biosorpsi logam berat zinc (Zn) dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu dilaksanakan di Waduk Lahor. Di Waduk Lahor digunakan sebagai tempat untuk menumbuhkan Biofilm.

4.1.1 Sejarah Waduk Lahor

Menurut Dirjen Pengairan (1983), waduk Lahor terletak pada Sungai Lahor (anak sungai Brantas), sejauh ±1,5 km disebelah utara Waduk Serbaguna Sutami atau terletak ± 32 km di sebelah selatan kota Malang ke arah Blitar pada elevasi 278 m diatas permukaan laut. Pembangunan Waduk lahor dilaksanakan oleh Badan Pelaksana Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Kali Brantas dan dibantu oleh *Nippon Koei Co, Ltd*. sebagai konsultan di bidang desain dan supervisi. Waduk Lahor diresmikan pada tanggal 12 November 1972 sama dengan peresmian berfungsinya Proyek Perbaikan Porong, dan Waduk Wlingi Raya.

4.1.2 Letak Geografis dan Kondisi Waduk Lahor

Waduk Lahor terletak pada Desa Lahor (anak sungai Brantas), sejauh ±1,5 km disebelah utara Waduk Serbaguna Sutami atau terletak ± 32 km di sebelah selatan kota Malang ke arah Blitar pada elevasi 278 m diatas permukaan laut. Peta lokasi Waduk Lahor selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1. Menurut Perum Jasa Tirta I (2014), batasan-batasan Waduk Lahor dengan daerah sekitarnya adalah sebagai berikut:

- Sebelah Utara : Desa Jambuer dan Desa Ngadirejo
- Sebelah Timur : Aliran Sungai Biru
- Sebelah Selatan : Desa Karangkates

- Sebelah Barat : Desa Boro, Kabupaten Blitar

4.1.3 Manfaat dan Tujuan Pembangunan Waduk Lahor

Sesuai dengan data yang diperoleh dari Perum Jasa Tirta I, terdapat beberapa manfaat dan tujuan dari pembangunan Waduk Lahor antara lain sebagai pengendali banjir, sarana Pembangkit Tenaga Listrik, Irigasi, serta beberapa manfaat lainnya. Pembangunan Waduk Lahor untuk pengendalian banjir dapat mengurangi debit banjir dari 790 m^3 /det hingga menjadi 150 m^3 / det dan sedimen yang menyebabkan pendangkalan sebesar 35.000 m^3 / tahun juga dapat ditampung. Selain itu tujuan kedua adalah sebagai Pembangkit Tenaga Listrik dimana air yang tertampung di Waduk Lahor dialirkan ke waduk sutami melalui terowongan penghubung. Tambahan air ini dapat digunakan untuk menggetakkan unit III PLTA Sutami dengan daya terpadang 35.000 kW dan menaikkan tenaga listrik sebesar 7.220.000 kWh/tahun. Ilustrasi terowongan penghubung dapat dilihat pada Lampiran 2.

Manfaat ketiga pembangunan Waduk Lahor adalah untuk sarana irigasi dengan mengatur pemberian air irigasi di hilir, maka akan diperoleh penambahan daerah penanaman padi seluas 1.100 Ha pada musim kemarau. Dengan demikian akan menaikkan produksi padi dan palawija sebesar 9.800 ton setiap tahunnya. Selain itu manfaat lainnya adalah dibidang perikanan dimana banyak aktivitas pemancingan, penjaringan dan aktivitas budidaya karamba jaring apung di Waduk Lahor serta aktivitas pariwisata (Fibriati, 2014).

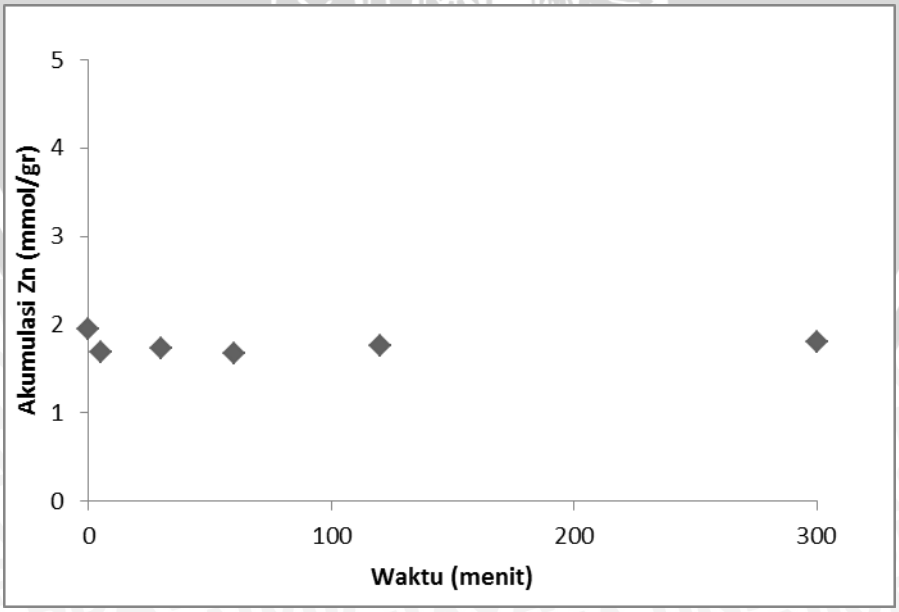
4.2 Biosorpsi Zn oleh Biofilm

Pada penelitian ini didapatkan dua hasil yaitu hasil dari kinetik adsorpsi biofilm dan yang kedua adalah hasil adsorpsi isoterm biofilm.

4.2.1 Kinetik Adsorpsi

Penelitian mengenai kinetik adsorpsi logam zinc (Zn) dengan biofilm dilakukan selama 5-300 menit dengan 3 kali pengulangan. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahuai kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat zinc (Zn) pada waktu yang berbeda dan mengetahui waktu optimum kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat zinc (Zn) dengan konsentrasi 15 mM.

Penyerapan logam zinc oleh biofilm pada penelitian ini cenderung stabil tidak mengalami perubahan dari awal penyerapan (5 menit) sampai akhir pengamatan (300 menit). Penyerapan logam Zn sudah mencapai nilai maksimum pada menit ke 5, yang berarti penyerapan terjadi sangat cepat dimana jumlah adsorpsi yang teramati cenderung sama dari awal sampai akhir waktu pengamatan (Gambar 1). Hasil ini menunjukkan tren yang sama dengan studi yang dilakukan oleh Kurniawan dan Yamamoto (2013) yang menunjukkan kalau proses adsorpsi pada biofilm berlangsung sangat cepat, dimana jumlah adsorpsi yang tercapai hanya dalam 1 menit sama seperti yang teramati pada tahap atau waktu pengamatan selanjutnya.

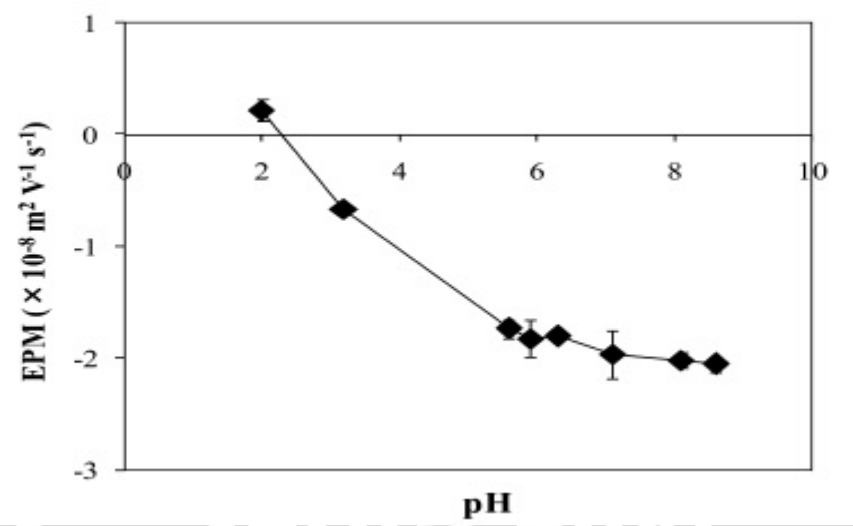


Gambar 2. Akumulasi Penyerapan Logam Berat Zn oleh Bioflm

Karakter penyerapan yang cepat ini mengindikasikan kalau adsorpsi logam Zn oleh biofilm terjadi secara proses fisika kimia atau disebut juga dengan *passive uptake.* Mekanisme *passive uptake* menurut Makkasau *et al*., (2011) merupakan proses biosorpsi secara bolak-balik dan cepat dengan 2 cara yaitu pertukaran ion dan pembentukan senyawa kompleks tanpa melibatkan proses metabolisme (*active uptake*). Selanjutnya, Kurniawan *et al*., (2012) juga melaporkan bahwa adsorpsi kation pada biofilm terjadi melalui proses fisika kimia.

Proses penyerapan Zn oleh biofilm pada penelitian ini diperkirakan terjadi melalui dua proses yaitu melalui interaksi muatan listrik dan mekanisme pertukaran ion. Interaksi muatan listrik terjadi karena biofilm mempunyai muatan listrik negatif pada polimernya, sehingga ion logam berat dapat terikat pada polimer biofilm tersebut. Keberadaan muatan listrik pada polimer biofilm dapat diperkuat oleh penelitian Kurniawan *et al*., (2012), yang mengatakan biofilm menunjukkan nilai EPM (*Electrophoretik Mobility*) negatif pada pH 7, dimana nilai ini secara bertahap menurun dengan menurunnya pH, terutama pada sekitar pH 4. Adanya muatan ion negatif pada biofilm juga dibuktikan dengan didapatkannya nilai negatif pada pH sebesar 6,8. Hasil tersebut menandakan bahwa biofilm memiliki muatan listrik negatif (Gambar 2).

Mekanisme pertukaran ion diperkirakan terjadi ketika logam berat Zn dari air sekitar biofilm menggantikan kation yang sebelumnya terikat pada polimer biofilm. Studi yang dilakukan Kurniawan *et al*., (2012) ini juga melaporkan bahwa biofilm memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi untuk kation dibandingkan anion, alasan yang mungkin untuk menjelaskan fakta ini adalah biofilm memiliki banyak situs bermuatan negatif daripada situs positif pada pH 7 seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengukuran EPM.



Gambar 3. Hasil Pengukuran Electrophoretik Mobility (EPM) (Kurniawan *et al*., 2012)

Berdasarkan pembahasan diatas, diketahui bahwa biofilm mempunyai kemampuan cukup besar sebagai biosorben logam berat khususnya zinc. Hal tersebut sesuai dengan perhitungan efektifitas kemampuan penyerapan biofilm yang didapatkan pada penelitian ini yaitu kurang lebih sebesar 86 %. Kemampuan biofilm sebagai biosorben ini lebih besar bila dibandingkan dengan biosorben lainnya yang dilaporkan oleh penelitian yang lain. Seperti pada penelitian yang di lakukan oleh Herlandien (2013), didapatkan bahwa arang aktif komersil menyerap logam Zn dengan nilai efektifitas 55,9 %, lalu dengan arang aktif tempurung kelapa mempunyai efektifitas sebesar 37,5 % dengan waktu masing-masing penyerapan maksimal adalah 120 menit. Melihat nilai efektifitas penyerapan logam Zn oleh biofilm yang lebih besar dibandingkan biosorben lainnya, maka bisa dikatakan bahwa biofilm memiliki potensi untuk menjadi biosorben yang lebih efektif dalam menyerap logam berat khususnya zinc.

4.2.2 Adsorpsi Isoterm

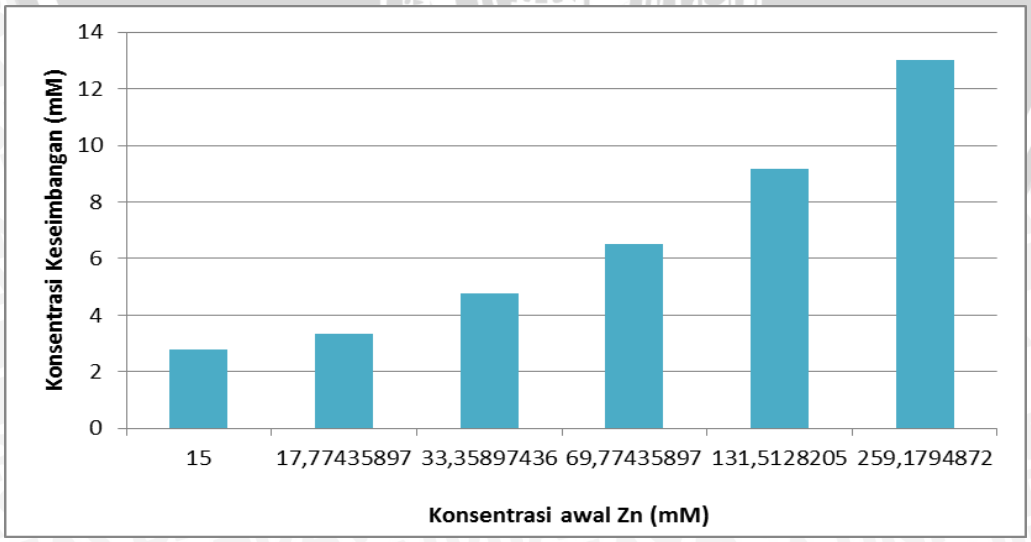
Pola adsopsi isoterm logam berat Zn oleh biofilm pada penelitian ini, didapatkan berdasarkan pada penyerapan Zn oleh biofilm pada konsentrasi yang

berbeda (15 mM – 259,19 mM). Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat zinc (Zn) pada konsentrasi keseimbangan (dimana penyerapan ion oleh biofilm terjadi) yang berbeda. Adapun data hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Akumulasi Penyerapan Logam Zn Pada Konsentrasi Awal yang Berbeda. Eksperimen diulang sebanyak 3 kali.

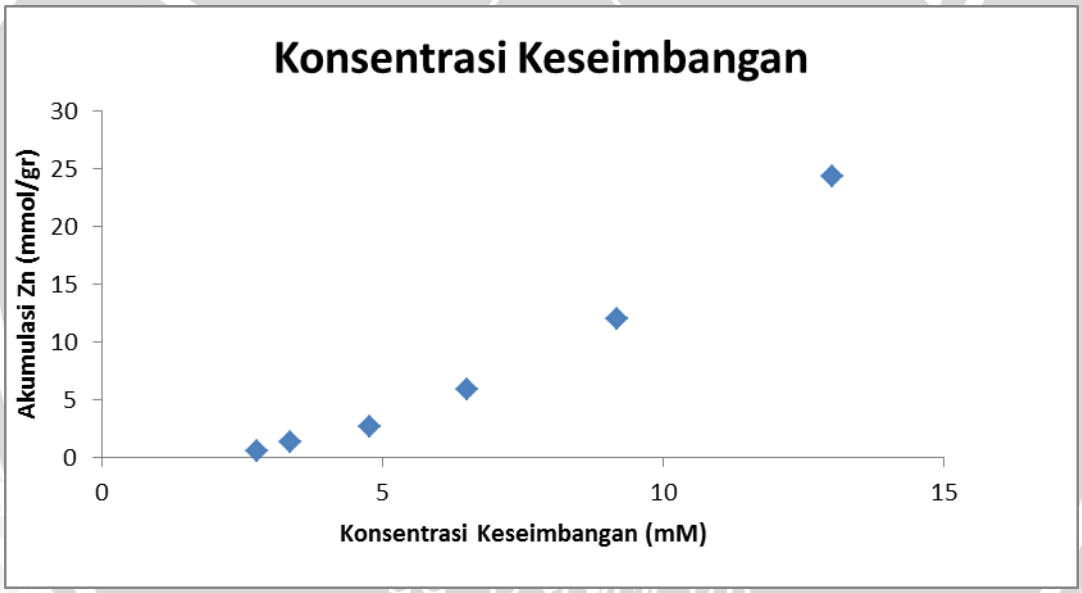
No	Konsentrasi Awal (mM)	Penyerapan (mmol/gr)	Stdev
1	Kontrol	0	0
2	15	0,61	0,081
3	17,75	1,33	0,083
4	33,34	2,75	0,23
5	65,74	5,91	0,18
6	131,5	12,02	0,24
7	259,12	24,32	0,73

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa akumulasi penyerapan logam Zn pada perlakuan 15 mM sebesar 0,61 mmol/gr. Selanjutnya pada perlakuan 17,75 mM sebesar 1,33 mmol/gr. Setelah itu pada perlakuan 33,34 mM, 65,74 mM, 131,5 mM dan 259,12 mM masing- masing diperoleh akumulasi Zn pada biofilm adalah sebesar 2,75 mmol/gr, 5,91 mmol/gr, 12,02 mmol/gr dan 24,32 mmol/gr. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Hasil Penyerapan Logam Berat Zn Pada Konsentrasi Berbeda

Gambar 3 menunjukkan kalau semakin tinggi konsentrasi logam Zn yang berada disekitar biofilm, semakin tinggi penyerapan Zn yang dilakukan oleh biofilm tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas biofilm dalam melakukan penyerapan terhadap ion logam Zn sangat tinggi. Menurut Apriliyani (2010), kenaikan konsentrasi pada adsorbat menyebabkan peningkatan nilai ion yang terikat pada adsorben sehingga kapasitas penyerapannya meningkat. Hal tersebut juga didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Sulistyowati (2008) dimana kapasitas adsorpsi akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat.



Gambar 5. Adsorpsi Isoterm Zn oleh Biofilm

Gambar 4 menunjukkan pola adsorpsi isoterm penyerapan logam Zn oleh biofilm pada perlakuan 15 mM – 259,12 mM. Dari Gambar 5 terlihat bahwa akumulasi logam berat Zn oleh biofilm dalam penelitian ini terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi keseimbangan. Konsentrasi keseimbangan tertinggi yang dicapai dalam penelitian ini adalah 13,02 mM. Nilai konsentrasi ini jauh melebihi standar baku mutu perairan untuk logam berat Zn menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2004 dan PERGUB

JATIM No. 72 tahun 2013 yang mensyaratkan kadar maksimal konsentrasi Zn yang diperbolehkan dalam perairan sebesar 0,153846 mM.

Hasil di Gambar 4 juga menunjukkan bahwa penyerapan Zn oleh biofilm diduga masih belum mencapai nilai maksimum, hal itu memperkuat dugaan kalau biofilm mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyerap logam berat seperti Zn.

Selanjutnya untuk memberikan gambaran lebih lanjut bagaimana karakterisitk adsorpsi logam berat Zn ke dalam biofilm, maka akumulasi Zn pada penelitian ini dijelaskan dengan persamaan Langmuir isoterm (Gambar 6). Adapun persamaan rumus perhitungan Langmuir isoterm adalah sebagai berikut ini:

$$\frac{C}{N} = \frac{1}{Nmax \times b} + \frac{C}{Nmax}$$

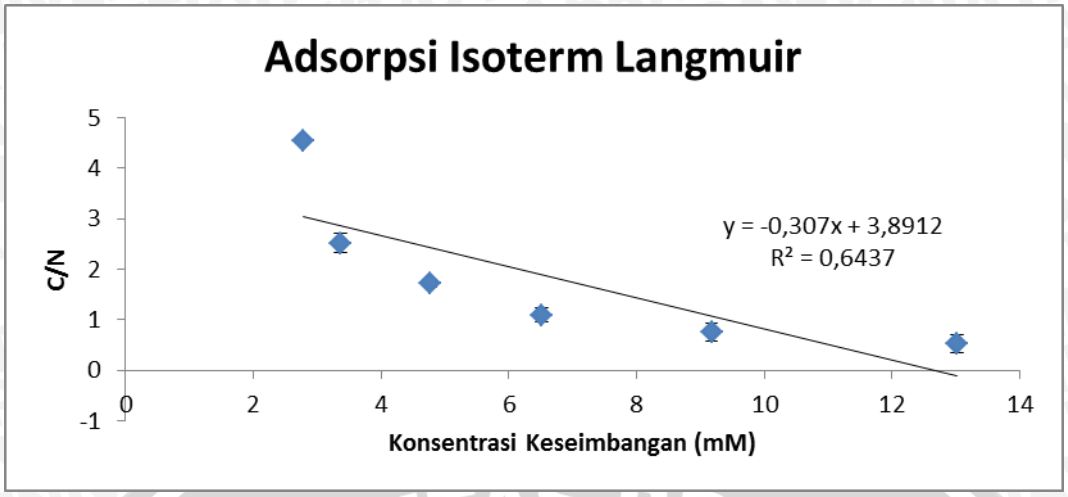
Keterangan:

C = konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mM)

N = jumlah konsentrasi yang diadsorpsi per gram biofilm (mmol/g)

N_{max} = kapasitas adsorpsi maksimal

b = intensitas adsorpsi



Gambar 6. Konsentrasi Keseimbangan Logam Zn di Biofilm. Penelitian diulang 3 kali, bar menunjukkan Standar Deviasi.

Keterangan :

C/N = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mM) per jumlah konsentrasi yang teradsorpsi per gram biofilm (mmol/g)

Memasukkan nilai C/N sebagai sumbu y dan konsentrasi keseimbangan (c) sebagai sumbu x akan menghasilkan garis lurus dengan *slope* menunjukkan 1/Nmax dan *intercept* sumbu y sebagai 1/(Nmax) b, sehingga nilai Nmax dapat dihitung (Kurniawan *et al*., 2012).

Gambar 6 menunjukkan model adsorpsi isoterm Langmuir untuk penyerapan logam berat Zn dalam penelitian ini. Analisis perhitungan untuk menjabarkan model ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi hitung SPSS V.2.0 metode regresi linear dimana didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 60% dan hasil signifikansi sebesar 0,05 serta R^2 0,6. Ini mengindentifikasikan kalau penyerapan logam berat Zn pada biofilm dalam penelitian ini dapat dijelaskan dengan persamaan adsorpsi isoterm Langmuir. Menurut Wardani *et* al., (2007) nilai koefisien determniasi yang lebih dari 0,5 atau mendekati 1 akan mempunyai derajat signifikan yang tinggi atau sangat berpengaruh. Berdasarkan perhitungan model adsorpsi isoterm Langmuir yang

dilakukan, diperoleh nilai Nmax yang merupakan jumlah adsorpsi maksimum yang bisa dilakukan biofilm terhadap logam Zn sebesar 3,26 mmol/gr, sehingga biofilm dapat digunakan sebagai biosorben yang baik dalam proses pengolahan limbah seperti logam berat Zn sebelum di buang ke wilayah perairan.

Tipe isoterm langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi satu lapisan. Kimisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara sisi aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben mampu mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Apriliani,2010). Isoterm langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semua memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik (Atkins, 1999).

4.3 Karakteristik Biosorpsi

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa mekanisme penyerapan yang dilakukan biofilm untuk menyerap logam Zn adalah *passive uptake*. Yang ditandai dengan waktu penyerapan yang terjadi sangat cepat. Waktu penyerapan ion logam tercepat Zn yang dilakukan pada penelitian adalah 5 menit, namun diduga penyerapan yang terjadi berlangsung lebih cepat dari 5 menit. Susanti (2011) menyatakan bahwa *passive uptake* merupakan mekanisme penyerapan melalui mekanisme kimia dan fisika seperti pertukaran ion dan pembentukan senyawa kompleks. Adsorpsi ini juga merupakan adsorpsi yang tidak bergantung pada metabolisme sehingga terjadi dengan sangat cepat.

Proses penyerapan Zn oleh biofilm pada penelitian ini diperkirakan terjadi melalui dua proses yaitu melalui interaksi muatan listrik dan mekanisme pertukaran ion. Interaksi muatan listrik terjadi dimana biofilm mempunyai elektron muatan negatif pada polimernya, sehingga ion logam berat akan dibebankan

pada polimer biofilm tersebut. Adanya muatan listrik pada polimer biofilm ditunjukkan oleh studi Kurniawan *et al*., (2012) yang mengatakan bahwa biofilm menunjukkan nilai EPM (*Electrophoretik Mobility*) negatif pada pH sekitar 7 yang berarti biofilm memiliki muatan listrik negatif. Logam Zn akan menempati polimer biofilm yang memiliki muatan listrik negatif tersebut, sehingga dengan begitu logam Zn akan terikat dalam biofilm.

Mekanisme penyerapan lainnya dapat terjadi dengan proses pertukaran ion. Proses ini diperkirakan terjadi ketika ion yang ada pada air sekitar biofilm menggantikan ion yang sebelumnya terikat pada polimer biofilm, sehingga diduga ion logam Zn menggantikan ion yang ada di biofilm. Pernyataan mengenai adanya pertukaran ion tersebut diungkapkan oleh Kurniawan *et al*., (2012) yang melaporkan bahwa ion yang terikat di biofilm akan digantikan dengan ion yang ada pada air sekitar biofilm.

Berdasarkan waktu penyerapan yang diukur dalam penelitian ini yaitu 5–300 menit didapatkan hasil penyerapan cenderung konstan dimulai pada awal pengamatan hingga akhir pengamatan. Hal tersebut menunjukkan tingkat penyerapan biofilm tidak ditentukan oleh waktu penyerapan karena penyerapan yang dilakukan biofilm cenderung terjadi secara cepat. Menurut Kurniawan dan Yamamoto (2013), bahwa jumlah adsorpsi yang diperoleh pada menit 1 sama seperti yang diamati pada tahap atau waktu pengamatan selanjutnya. Tingkat penyerapan berdasarkan konsentrasi yang diukur menunjukkan bahwa hasil penyerapan cenderung meningkat seiring naiknya konsentrasi yang diberikan. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Apriliyani (2010), yang mengatakan kenaikan konsentrasi pada adsorbat menyebabkan peningkatan nilai ion yang terikat pada adsorben sehingga kapasitas penyerapannya meningkat.

Pengukuran suhu dan pH pada penelitian ini juga dilakukan. Menurut Apriliani (2010) proses biosorpsi dipengaruhi oleh suhu, pH dan kelarutan ion. Suhu yang didapatkan pada penelitian ini relatif tidak berubah berkisar antara 27-30^{0}C. Hal ini mengindikasikan walaupun eksperimen yang dilakukan pada suhu ruangan, pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme tidak terlalu berpengaruh terhadap proses biosorpsi yang diindikasikan dari akumulasi ion dari awal sampai akhir pengamatan sama. Selanjutnya untuk pH yang diperoleh pada penelitian ini mengalami penurunan dari 7 menjadi 6. Penurunan pH Ini mengindikasikan bahwa pertukaran ion terjadi, karena atom hidrogen yang sebelumnya terikat di biofilm diduga terlepas dan digantikan dengan Zn. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Khan (1978) *dalam* Muktamar *et al.,* (2003) yang mengatakan bahwa adsorpsi akan terjadi secara siginifikan seiring dengan pelepasan ion hidrogen yang digantikan dengan ion adsorban pada sistem.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Biofilm mampu menyerap logam berat zinc. Hal tersebut diketahui karena menurunnya konsentrasi logam berat zinc pada air sekitar biofilm dan ditemukan adanya konsentrasi logam berat zinc pada sampel biofilm.
- Kemampuan biofilm dalam menyerap logam berat zinc pada waktu 5 menit,30 menit,60 menit,120 menit, dan 300 menit relatif sama. Penyerapan ini diperkirakan telah terjadi pada waktu kurang dari 5 menit, dengan efektifitas penyerapan kurang lebih 86%. Berdasarkan perbedaan konsentrasi yaitu 15 mM – 259,12 mM, penyerapan logam berat zinc oleh biofilm meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang diberikan.
- Karakteristik penyerapan logam berat zinc oleh biofilm diketahui melalui mekanisme penyerapan *passive uptake*. Proses penyerapan diperkirakan terjadi melalui proses interaksi muatan listrik dan mekanisme pertukaran ion.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian mengenai biosorpsi logam berat zinc dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu, diharapkan dapat menjadi acuan atau bahan pertimbangan dalam melakukan *water treatment*.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. 2010. *Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan*. TEKNUBUGA.2(2): 53-65

Annachhatre, A.P. dan S.M.R. Bhamidimarri. 1992. Microbial attachment and growth in fixed-film reactors: Process startup considerations.

Apriliani, Ade. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb Dalam Air Limbah. Program Studi Kimia. Fakultas Sains Dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

Ariani, W., S. Sumyiati dan I. W. Wardhana. 2013. Studi Penurunan Kadar Cod Dan Tss Pada Limbah Cair Rumah Makan Dengan Teknologi Biofilm Anaerob – Aerob Menggunakan Media Bioring Susunan Random. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.

Atkins, P.W. 1999. Kimia Fisika 2. Jakarta : Erlangga

Bloom, J. H. 1998. Chemical and Pgysical Water Quality Amalysis. Nuffic UNIBRAW/LUW/Fish. Malang.

Buana. A, dan D. Wardani. 2014. Biofilm dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan. Universitas Diponegoro

Cahyonugroho, O. H. 2007. Kinetika Adsorpsi Warna Limbah Tekstil Dengan Abu Sekam Padi Menggunakan Reagen Tawas. *Jurnal Teknik Kimia*. **1**(2).

Chasanah, A. N. 2007. Efektivitas Biofilm *Pseudomonas putida* dengan Medium Pendukung Pipa PVC dan Tempurung Kelapa untuk Menurunkan Kadar Kromium (Cr) Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Das N, Lakshmi V. Geetanjali B, J. S Salam, dan E. A. Abigail M. 2012. Application of Biofilms on Remediation of Pollutants – An Overview. Scholars Research Library. Microbiol. Biotech. **2(5)** : 783-790.

Davies, G., Mattew R. Parsek., James P. Pearson., Barbara H. Iglewski., J.W. Costerton dan E.P. Greenberg. 1998. The Invovment of Cell-to-Cell Signals in the Development of a Bacterial Biofilm. *Journal Science.* **2(8)** : 295-297.

Effendie, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Kanisius. Yogyakarta.

Fardiaz, Srikandi. 1992. Polusi Air & Udara. Penerbit : Kanisius. Yogyakarta.

Fernanda, L. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Dan

Sifat Fraksionasinya Pada Sedimen Laut. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.

Fibriati, D.S.A. 2014. Studi Komunitas Zooplankton Secara Vertikal Di Perairan Waduk Lahor Desa Karangkates Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang, Jawa Timur. Praktek Kerja Lapang. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya Malang. Malang.

Forstner, U dan F. Prosi. 1978. Proceedings of the Course Held at the Joint Research Centre of the Commission of Europian Communities. Ispra Pergamon Press. Oxford.

Goldman, C.R dan A.J Horne. 1983. Lymnology. Mc Graw Hill International Book Company. Auckland.

Ghifari, Abi Sofyan. 2011. Biosorpsi Logam Berat Di Lingkungan Akuatik Menggunakan Limbah Sekam Padi (*Oryza Sativa* L.) Sebagai Biosorben. Universitas Indonesia. Depok.

Hanafiah, K. A. 2008. Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Hanum. W. K. Etmal dan A. F. Ridwan. 2013. Efektivitas Biofilm *Pseudomonas Putida d*engan Medium Pendukung Pipa Pvc dan Tempurung Kelapa Untuk Menurunkan Kadar Kromium (Cr) Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. Skripsi. Jurusan Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret: Surakarta.

Herlandien, Yola Lyliana. 2013 Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat Dalam Air Lindi Di TPA Pakusari Jember. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember. Jember.

Hidayati, B. Sunarno dan Silvia. R. Y. 2013. Studi Kinetika Adsorpsi Logam Cu^{2+} Dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktifasi. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau. Riau.

Hutabarat, S dan Evans. 1985. Pengantar Oseanografi. Jakarta: Universitas Indonesia.

Kancaribu, K. 2008. Kandungan Kadar Seng (Zn) dan Besi (Fe) dalam Air Minum Dari depot Air Minum Isi Ulang Air Pegunungan Sibolangit di Kota Medan. Sekolah Pasca Sarjana UnIversitas Sumatera Utara. Medan

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 202 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan Atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas Dan Atau Tembaga KNLH. Jakarta.

Ketut. Sastrawidana, Dewa dan I Nyoman Sukarta. 2013. Uji Coba Teknologi Biofilm Konsorsium Bakteri Pada Reaktor Semianaerob-Aerob Untuk Pengolahan Air Limbah Di Industri Pencelupan Tekstil Skala Rumah Tangga. *Jurnal Sains dan Teknologi.* **2(1)** : 2303-3142.

Kordi dan Tancung. 2005. Pengelolaan Kuaitas Air dalam Budidaya Perairan. Rineka Cipta. Jakarta.

Koumanova, B dan Antova P,P. 2002. Adsorption of p-chlorophenol from aqueous solution on bentonite and perlite. Journal of Hazardous Material **90** : 229-234.

Kratochvil dan Volesky. 1998. Biosorption Of Cu From Ferruginous Wastewater By Algal Biomass. *Wat Res*. **32(9)** : 2760-2768.

Kurniawan, Andi. 2009. Nutrient-rich Microhabitats within Biofilms are Synchronized with the External Environment. Ritsumeikan University. **24(1)** : 43-51.

_____. 2015. Bahan Ajar Biokimia. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.

Kurniawan, Andi dan T. Yamamoto. 2013. Biofilm Polymer For Biosorption of Pollutant Ions. *Procedia Environmental Sciences*. **17** : 179 – 187.

Kusmiyati. Robi I.S. Denny V Dan Ahmad.M.F. 2009. Kinetika Dan Termodinamika Adsorbsi Vertigo Blue 49 Dengan Absorben Karbon Aktif Arang Batu Bara. Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

Lam, Y. Liu, M.C. dan H.H.P. Fang. 2001. Adsorption Of Heavy Metals By EPS Of Activated Sludge. Department of Civil Engineering. The University of Hong Kong. Pokfulam Road. Hong Kong. China.

Lu, Frank. 1995. Toksikologi Dasar. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.

Makkasau, A., M. Sjahrul, M. N Jalaluddin, dan I. Raya. 2011. Teknik Fitoremediasi Fitoplankton Suatu Alternatif Pemulihan Lingkungan Laut yang Tercemar Ion Logam Cd^{2+} dan Cr^{6+}. *Pendidikan Guru Sekolah Dasar*. **7(2)**: 155-168.

Maslukah, Lilik. 2006. Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn Dan Pola Sebarannya Di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Milasari, Nurita Ika dan S. B. Ariyani. 2010. Pengolahan Limbah Cair Kadar Cod Dan Fenol Tinggi Dengan Proses Anaerob Dan Pengaruh Mikronutrient Cu : Kasus Limbah Industri Jamu Tradisional. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.

Mukhtasor. 2007. Pencemaran Pesisir dan laut. Penerbit PT. Pradnya.

Nafie, Nursiah La., P,Taba dan D, Mahmud. 2009. Biosorpsi Ion Logam Cr(Vi) Dengan Menggunakan Biomassa Lamun Enhalus Acoroides Yang Terdapat Di Pulau Barrang Lompo. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Narasimhulu, K dan P. S. Rao. 2009. Studies On Removal Of Toxic Metals From Wastewater Using Pseudomonas Species. *Asian Research Publishing Network*. **4(7)** : 58-63.

Onrizal. 2005. Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat. Jurusan Kehutanan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara.

Palar, H. 1994, Pencemaran dan toksikologi Logam Berat. Penerbit: Rineka Cipta. Jakarta.

Panjaitan, Grace Yanti. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb) Pada Pohon Avicennia Marina Di Hutan Mangrove. Skripsi. Departemen Kehutanan. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.

Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013.Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 TentangBaku Mutu Limbah Cair Industridan Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur. Surabaya. Jawa Timur.Indonesia.

Peterson, I dan Jafar I. 2003. The Ecology of Running Water. University of Toronto Press. Tokyo.

Prakash, B., Veeregowda, B.M. & Krishnappa, G. 2003. Biofilms : A Survival Strategy of Bacteria. *Current Sci*. **85(9)**: 1299-1307.

Priadie, Bambang. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air.

Ridhowati, Sherly. 2013. Mengenal Pencemaran Ragam Logam. Penerbit: Graha Ilmu. Yogyakarta.

Rittman, Bruce E dan Perry L McCarty. 1980. Model of Steady-State-Biofilm Kinetics. *Journal Biotechnology and Bioengineering*. **(22)** : 2343-2357.

Riva, A. F., S. Sumiyati dan I. W. Wardhana. 2013. Penurunan Kadar Cod Dan Tss Pada Limbah Industri Pembuatan Tempe Dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Biofilter Kombinasi Bioball Dan Limbah Kulit Kerang. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.

Rondonuwu, S. B. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. **14**(1).

Said, N.I dan Firly. 2005. Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *JAI*. **1**(3).

Sanusi, Harpasis Slamet dan Sugeng Putranto. 2009. Kimia Laut & Pencemaran. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan ILmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Sastrawijaya, A.T. 2000. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta: Jakarta.

Sony. 2009. Penentuan Kadar Logam Zinc (Zn) Dan Tembaga (Cu) Dalam Air Pam Hasil Penyaringan Yamaha Water Purifier Tipe Drinking Stand. Skripsi. Departemen Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Suharjo, Bambang. 2013. Statistika Terapan Disertai Contoh Aplikasi dengan SPSS. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Sukardjo, 1990. Kimia Anorganik. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.

Sriyanti, C. Azmiyawati dan Taslimah. 2005. Adsorpsi Kadmium(Ii) Pada Bahan Hibrida Tiol-Silika Dari Abu Sekam Padi. *JSKA*. **8**(2).

Sulastri, S. Nuryono. Indriana, K dan Eko. S. K. 2015. Kinetika Dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium (III) Dalam Larutan Pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis Dari Abu Sekam Padi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Sumardjo, D. 2006. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Sastra I Fakultas Bioeksakta*. Buku Kedokteran EGC: Jakarta

Sunarya, Asri Ismayati. 2006. Biosorpsi Cd(II) dan Pb(II) Menggunakan Kulit Jeruk Siam (*Citrus reticulatus*). Skripsi. Departemen Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Suriawiria, U. 1996. Air Dalam Kehidupan dan Lingkungan. Edisi Pertama. Bandung: Penerbit Alumni.

Susanti, T .2011.Studi Biosorpsi Ion Logam Cr (Vi) Oleh Biomassa Alga Hijau Yang Diimmobilisasi Pada Kalsium Alginat. Skripsi. Departemen Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia. Depok.

Toole, George O., Heidi B. Kaplan., dan Roberto Kolter. 2000. Biofilm Formation as Microbial Development. *Journal Microbial*. **(54)** : 49-79.

Trihendra, Cornelius. 2004. SPSS 12 Statistik Inferen Teori Dasar & Aplikasinya. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Tsuchiya, Y. M, Ikenaga. A. Kurniawan, A. Hiraki, t. Arakawa, R. Kusukabe, dan H. Morisaki. 2009. Nutrienr-rich Microhabitats within Biofilms are

Synchronized with the External Environment. Ritsumeikan University. **24(1)** : 43-51.

Veronica. 2009. Metode Eksperimen. http://www/yahoo.com/yahoo. Diakses pada 8 Januari 2015.

Volesky, B. 2010. Biosorption. http://biosorption.mcgill.ca/whatis.htm. Diakses pada 11 Januari 2015.

Walpole, R. E. 1995. Pengantar Statistika. Alih bahasa : Ir. Bambang Sumantri. Edisi ke-3.PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta

Wardani,R.J.danA.T.Muzakky.2007.Model Adsorpsi Langmuir PadaPerpindahan Logam Ti, V, Mn Sistem Air-Sedimen di Sepanjang Sungai Code Yogyakarta. Pustek Akselerator dan Proses Bahan–BATAN. ISSN : 0216 – 3128.

Wardhana, Wisnu Arya. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit : Andi. Yogyakarta.

Yuliastutiningsih., Lilik E, R Dan Djalal R. 2015. Perbandingan Madu Mangga Dan Madu Rambutan Berdasarkan Kadar Air, Cemaran Logam Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu). Fakultas Peternakan. Universitas Brawijaya. Malang.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan

a. Alat

No	Alat	Fungsi
1	Thermometer	Mengukur suhu
2	Kotak Standar pH	Sebagai acuan standar pH
3	Timbangan Digital	Mengukur berat biofilm
4	Sentrifuge	Memisahkan larutan dengan pellet
5	Magnetik stirer	Membantu menghomogenkan larutan
6	Labu erlenmeyer	Menghomogenkan larutan
7	Gelas ukur	Membantu mengambil larutan dalam jumlah
8	Gelas piala	Membantu menimbang logam berat
9	Tabung reaksi	Sebagai wadah pada saat di sentrifuge
10	MIkropipet	Mengambil larutan
11	Erlenmeyer	Sebagai wadah mencampur larutan

b. Bahan

No	Alat	Fungsi
1	Logam Berat Zn	Sebagai obyek pengamatan
2	Aluminium foil	Sebagai penutup tabung reaksi
3	Tissue	Membersihkan alat
4	Kertas label	Memberi tanda pada setiap perlakuan
5	Aquades	Mengencerkan larutan

Lampiran 2. Data Teknis Waduk Lahor

1. Waduk

- Daerah pengaliran : 60,00 Km^2
- Muka Air Tinggi (MAT) : EL. 272,70 m
- Muka Air Rendah (MAR) : EL. 253,00 m
- Daerah Terendam : 2,60 Km^2
- Kapasitas Kotor : 36.100.000 m^3 (1977)

  : 28.320.000 m^3 (2009)
- Kapasitas Efektif : 29.400.000 m^3 (1997)

  : 23.990.000 m^3 (2009)
- Debit masuk rata-rata : 2,00 m^3/dt
- Debit rencana banjir : 790,00 m^3/dt

2. Bendungan

- Type bendungan : Rock Fill
- Tinggi Bendungan : 74,00 m
- Panjang puncak bendungan : 443,00 m
- Lebar puncak bendungan : 10,00 m
- Isi tubuh bendungan : 1.694.000,00 m^3

3. Bangunan Pelimpah/Spillway

- Type : Non gate Overflow Weir
- Elevasi ambang pelimpah : EL. 272,70 m

- Lebar pelimpah : 35,00 m
- Kapasitas : 790 m_3/dt
- Panjang pelimpah : 375,00 m
- Lebar saluran : 8,00 m

4. Terowongan Penghubung

- Diameter outlet : 2,50 m
- Diameter inlet : 3,00 m
- Panjang terowongan : 822,00 m
- Elevasi dasar inlet : EL. 251,00 m
- Elevasi dasar outlet : EL. 247,00 m
- Kemiringan : 1:500
- Pintu air : Roller gate 2,50 m x 2,50 m
- Jumlah pintu air : 1 buah

Lampiran 3. Data Perhitungan Kinetik Adsorpsi

Hasil Pengukuran			Rata-rata	Akumulasi	Volume (L)	Ratio of loss	mmol/L	Berat biofilm (gr)	q (mmol/gram)	Standard Deviasi
Perlakuan	ppm	mM								
Kontrol 1	0,027	0,0004154	0,000482051	14,99951795	0,3	0	4,499855385	2,3	1,956458863	5,66429E-05
2	0,036	0,0005538								
3	0,031	0,0004769								
5 Menit 1	135,6	2,0861538	2,076410256	12,92358974	0,27	0,9	3,489369231	2,07	1,685685619	0,031537419
2	132,2	2,0338462								
3	137,1	2,1092308								
30 Menit 1	118	1,8153846	1,731794872	13,26820513	0,24	0,888888889	3,184369231	1,84	1,730635452	0,071128778
2	106,7	1,6415385								
3	113	1,7384615								
60 Menit 1	139,4	2,1446154	2,205128205	12,79487179	0,21	0,875	2,686923077	1,61	1,668896321	0,053829057
2	147,9	2,2753846								
3	142,7	2,1953846								
120 Menit 1	105,9	1,6292308	1,505128205	13,49487179	0,18	0,857142857	2,429076923	1,38	1,760200669	0,116499458
2	87,7	1,3492308								
3	99,9	1,5369231								
300 Menit 1	73,6	1,1323077	1,186153846	13,81384615	0,15	0,833333333	2,072076923	1,15	1,80180602	0,056749562
2	82,2	1,2646154								
3	75,5	1,1615385								

Keterangan :

Akumulasi = Hasil penyerapan logam berat Zn oleh biofilm

Volume = Volume yang digunakan

Q = Kemampuan penyerapan logam berat Zn dalam mmol pada satu gram biofilm

ADSORPSI ISOTERM

Hasil Pengukuran			Rata-rata	Akumulasi (mM)	Volume (L)	mmol	Berat biofilm (gr)	q (mmol/gram)	Standard Deviasi
Perlakuan	ppm	mM							
Kontrol 1	0,047	0,0007231	0,000610256	0	0,12	0	2,4	0	0,000101533
2	0,031	0,0004769							
3	0,041	0,0006308							
15 mM 1	180	2,7692308	2,774358974	12,22564103	0,12	1,467076923	2,4	0,611282051	0,081730141
2	174	2,6769231							
3	187	2,8769231							
30 mM 1	220	3,3846154	3,358974359	14,41538462	0,12	1,729846154	2,4	0,720769231	0,083638495
2	211	3,2461538							
3	224	3,4461538							
60 mM 1	309	4,7538462	4,774358974	28,58461538	0,12	3,430153846	2,4	1,429230769	0,239108579
2	292	4,4923077							
3	330	5,0769231							
125 mM 1	437	6,7230769	6,512820513	63,26153846	0,12	7,591384615	2,4	3,163076923	0,190642362
2	407	6,2615385							
3	426	6,5538462							
250 mM 1	614	9,4461538	9,179487179	122,3333333	0,12	14,68	2,4	6,116666667	0,249443826
2	575	8,8461538							
3	601	9,2461538							
500 mM 1	871	13,4	13,01538462	246,1641026	0,12	29,53969231	2,4	12,30820513	0,73664306
2	888	13,661538							
3	779	11,984615							

Keterangan :

Akumulasi = Hasil penyerapan logam berat Zn oleh biofilm

Volume = Volume yang digunakan

Q = Kemampuan penyerapan logam berat Zn dalam mmol pada satu gram biofilm

Lampiran 4. Analisis Perhitungan Regresi dengan SPSS

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.802[a]	.644	.555	.99756

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.802[a]	.644	.555	.99756

a. Predictors : KESEIMBANGAN

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.889	.856		4.541	.010
	KESEIMBANGAN	-.307	.114	-.802	-2.688	.055

a. Dependent Variable: LANGMUIR