

**BIOSORPSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DENGAN MENGGUNAKAN  
BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU**

**SKRIPSI**

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN**

**JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN**

Oleh :

**FANDI PUTRA PRASTIDA**

**NIM. 115080101111048**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**

**BIOSORPSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) 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 :

**FANDI PUTRA PRASTIDA  
NIM. 115080101111048**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2015**

**SKRIPSI**

**BIOSORPSI LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu) DENGAN MENGGUNAKAN  
BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU**

Oleh:

**FANDI PUTRA PRASTIDA**  
NIM. 115080101111048

Telah dipertahankan didepan penguji  
pada tanggal 1 Juli 2015  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
Tanggal:

**Dosen Penguji I**

**(Dr. Ir. Mulyanto, M.Si)**  
NIP. 19600317 198602 1 001  
Tanggal:

**Dosen Penguji II**

**(Ir. Sri Sudaryanti, MS)**  
NIP. 19601009 198602 2 001  
Tanggal:

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I**

**(Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si)**  
NIP. 19610303 198602 2 001  
Tanggal:

**Dosen Pembimbing II**

**(Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc)**  
NIP. 19790331 200501 1 003  
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, 1 Mei 2015  
Penulis,

Fandi Putra Prastida



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas segala Rahmat dan Karunia-Nya.
2. Kedua Orang Tua, Finda dan Fitri atas segala doa serta motivasi sehingga mampu menyelesaikan laporan ini.
3. Ibu Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si dan Bapak Andi Kurniawan S.Pi., M.Eng., D.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan sarannya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan ini.
4. Bapak Dr. Ir. Mulyanto, M.Si dan Ibu Ir. Sri Sudaryanti, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat bermanfaat.
5. Biofilm Team yang telah membantu selama proses penelitian sampai selesai.
6. Teman-teman Manajemen Sumber Daya Perairan 2011 (ARM 11) yang telah memberikan semangat dan saran atas terselesaikannya laporan ini.
7. Semua pihak yang belum disebutkan dalam terselesaikannya laporan ini.

Malang, 1 Mei 2015  
Penulis,

Fandi Putra Prastida

## RINGKASAN

**FANDI PUTRA PRASTIDA.** Skripsi tentang Biosorpsi Logam Berat Tembaga (Cu) Dengan Menggunakan Biofilm Yang Tumbuh Pada Batu (di bawah bimbingan **Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si** dan **Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc**)

---

Kondisi lingkungan perairan yang memiliki peran sangat penting bagi biota yang hidup di dalamnya dan juga manusia kualitasnya semakin menurun. 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 Cu yang dapat menimbulkan kematian pada biota yang hidup di dalamnya dan mengakibatkan efek toksik pada manusia yang dapat menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan cara untuk mencegah terjadinya pencemaran salah satunya adalah dengan pengelolaan limbah. Biosorpsi merupakan salah satu alternatif pengelolaan 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 Cu dengan waktu dan konsentrasi yang berbeda serta untuk mengetahui karakteristik adsorpsi logam berat Cu oleh biofilm.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah sumber informasi dan rujukan dalam menentukan kebijakan dan pengelolaan limbah industri khususnya logam berat serta peningkatan dan pengembangan *water treatment* dengan menggunakan biofilm.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan percobaan pada sistem yang sengaja 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 adsorpsi isoterm dengan perbedaan konsentrasi yang terbagi atas 15 mM, 17 mM, 33 mM, 68 mM, 131 mM dan 260 mM.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa biofilm mampu menyerap logam berat Cu. Hal tersebut diketahui berdasarkan akumulasi penyerapan logam Cu pada perlakuan 5 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,34 mM. Konsentrasi Cu pada perlakuan 30 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,68 mM. Selanjutnya pada perlakuan 60 menit, 120 menit, dan 300 menit juga menurun drastis dari 15 mM masing-masing menjadi 1,20 mM, 0,72 mM dan 0,77 mM. Lebih lanjut pada pengaruh konsentrasi yang berbeda didapatkan akumulasi penyerapan logam Cu pada perlakuan 15 mM sebesar 0,64 mmol/gr. Selanjutnya pada perlakuan 17 mM sebesar 1,37 mmol/gr. Setelah itu pada perlakuan 33 mM, 68 mM, 131 mM dan 260 mM masing-masing diperoleh akumulasi Cu pada biofilm adalah sebesar 2,84 mmol/gr, 5,94 mmol/gr, 12,04 mmol/gr dan 24,38 mmol/gr.

Berdasarkan penelitian didapatkan kesimpulan bahwa biofilm mampu menyerap logam berat Cu. Hal tersebut diketahui karena menurunnya

repository.ub.ac.id

konsentrasi logam berat Cu pada air sekitar biofilm dan ditemukan adanya konsentrasi logam berat Cu pada sampel biofilm. Kemampuan biofilm dalam menyerap logam berat Cu pada waktu 5–300 menit relatif sama. Berdasarkan perbedaan konsentrasi yaitu 15 mM–260 mM, penyerapan logam berat Cu oleh biofilm meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang diberikan. Karakteristik penyerapan logam berat Cu oleh biofilm diketahui melalui mekanisme penyerapan *passive uptake*.

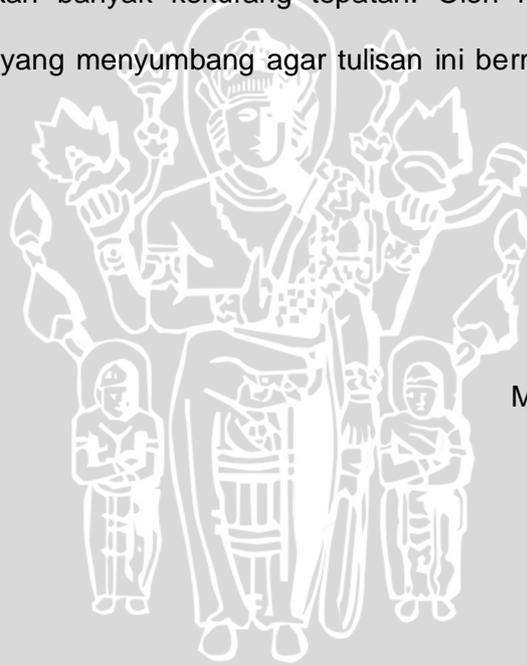
Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian mengenai biosorpsi logam berat Cu dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu, diharapkan dapat menjadi acuan atau bahan pertimbangan dalam melakukan *water treatment*.



## KATA PENGANTAR

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

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



Malang, 1 Mei 2015

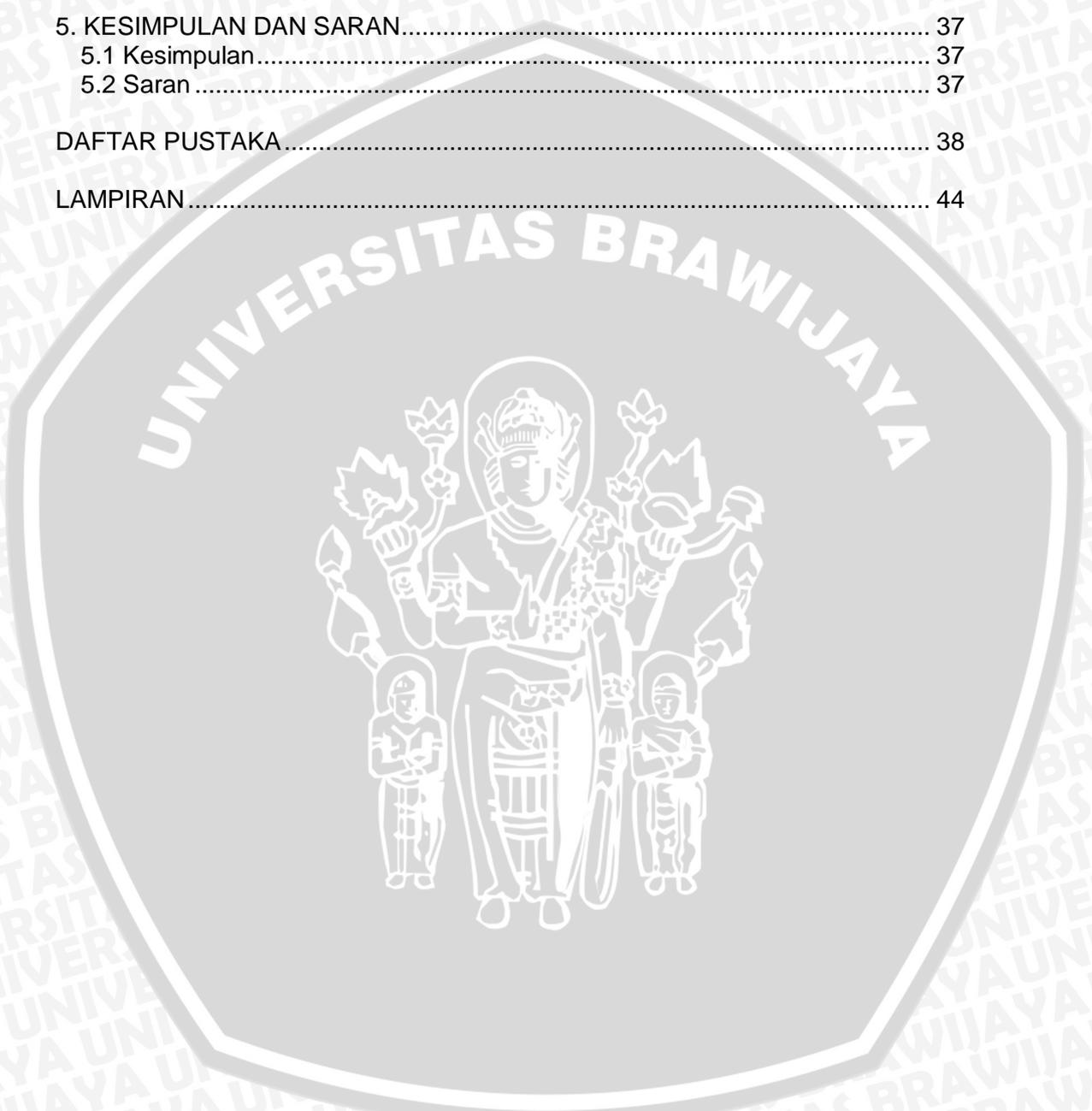
Penulis,

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 .....	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Waktu dan tempat .....	6
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pencemaran .....	7
2.2 Logam tembaga .....	9
2.3 Biofilm .....	10
2.4 Pembentukan biofilm.....	11
2.5 Biosorpsi.....	12
2.5.1 Kinetik adsorpsi .....	13
2.5.2 Adsorpsi isoterm.....	14
2.6 Parameter kualitas air .....	14
2.6.1 Suhu.....	14
2.6.2 pH .....	15
3. METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Materi penelitian .....	17
3.2 Alat dan bahan .....	17
3.3 Metode penelitian .....	17
3.4 Analisis data .....	18
3.5 Tahapan penelitian.....	18
3.5.1 Persiapan sampel.....	18
3.5.2 Pembuatan larutan induk .....	19
3.5.3 Penentuan kinetik adsorpsi .....	19
3.5.4 Penentuan adsorpsi isoterm .....	21
3.5.5 Pengukuran kualitas air.....	22
3.6 Analisis logam berat Cu .....	23
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Keadaan umum lokasi penelitian .....	24
4.1.1 Sejarah Waduk Lahor.....	24



4.1.2 Letak geografis dan kondisi Waduk Lahor.....	24
4.1.3 Manfaat dan tujuan pembangunan Waduk Lahor .....	24
4.2 Hasil penelitian pada biofilm .....	25
4.2.1 Kinetik adsorpsi .....	25
4.2.2 Adsorpsi isoterm.....	30
4.3 Karakteristik Biosorpsi.....	34
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>38</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>



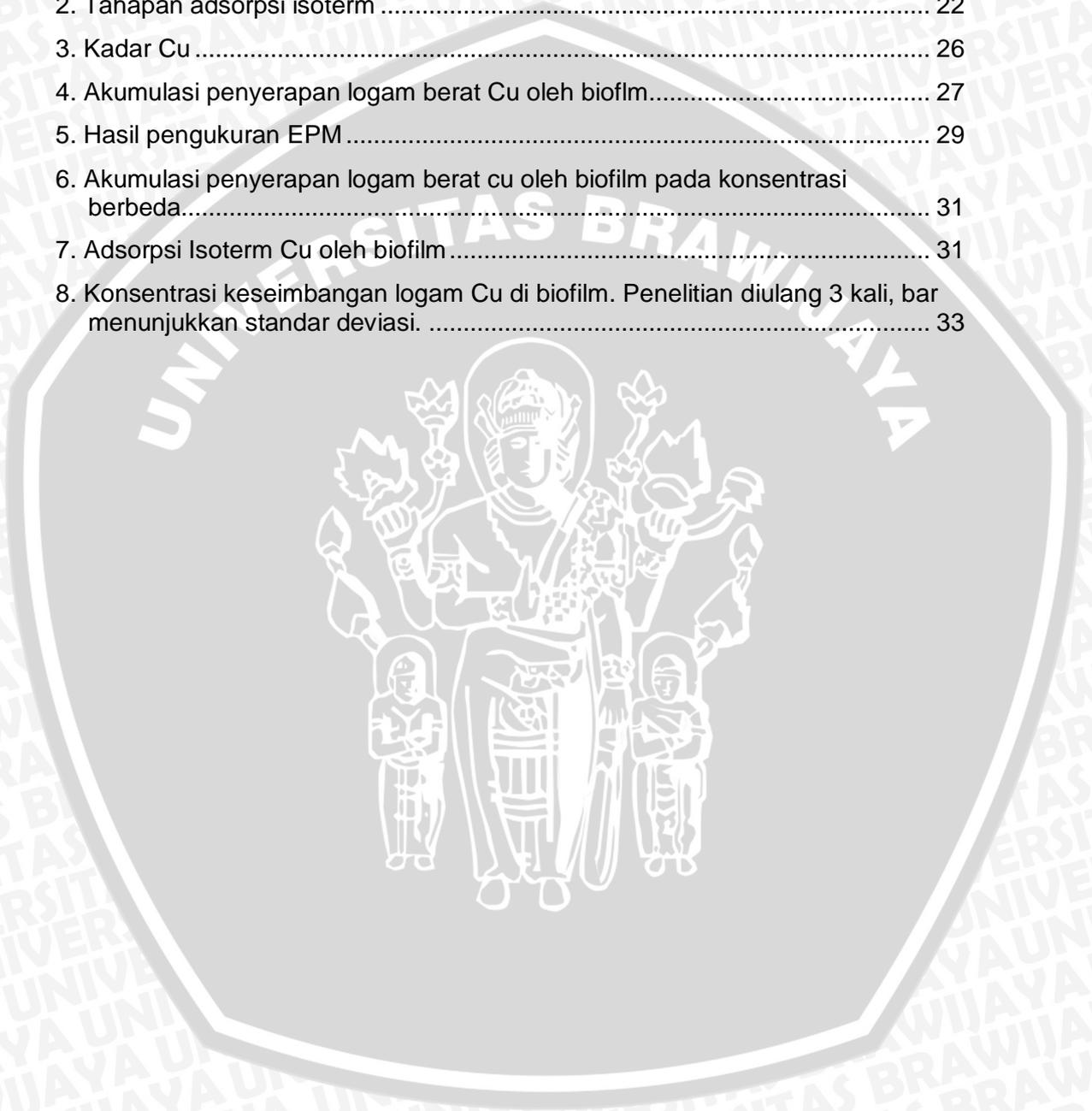
## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Akumulasi penyerapan logam Cu oleh biofilm .....	26
2. Akumulasi penyerapan logam Cu pada konsentrasi berbeda. Penelitian diulang sebanyak 3 kali. ....	30



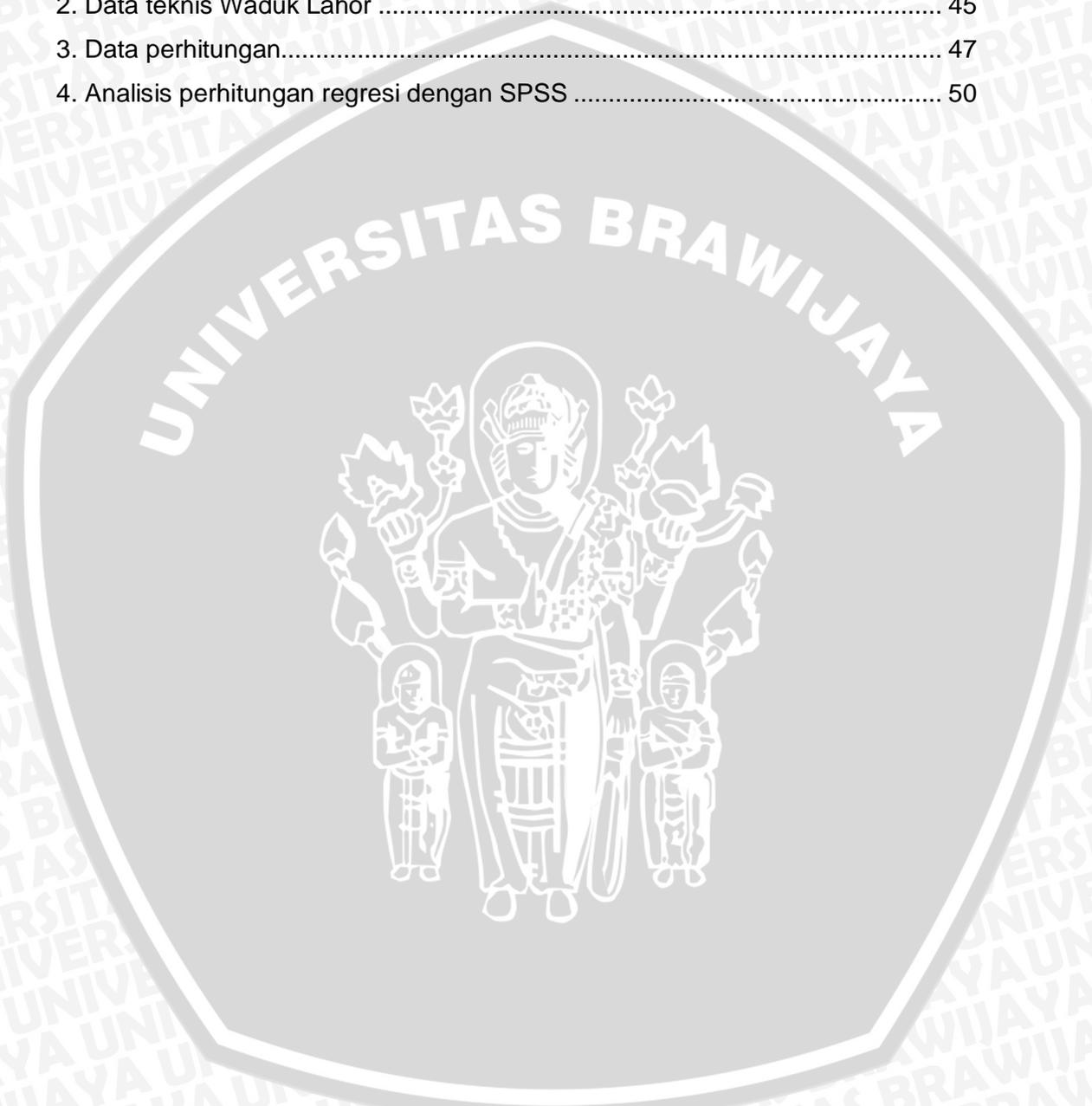
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tahapan kinetik adsorpsi.....	20
2. Tahapan adsorpsi isoterm .....	22
3. Kadar Cu .....	26
4. Akumulasi penyerapan logam berat Cu oleh biofilm.....	27
5. Hasil pengukuran EPM .....	29
6. Akumulasi penyerapan logam berat cu oleh biofilm pada konsentrasi berbeda.....	31
7. Adsorpsi Isoterm Cu oleh biofilm .....	31
8. Konsentrasi keseimbangan logam Cu di biofilm. Penelitian diulang 3 kali, bar menunjukkan standar deviasi. ....	33



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan bahan .....	44
2. Data teknis Waduk Lahor .....	45
3. Data perhitungan.....	47
4. Analisis perhitungan regresi dengan SPSS .....	50



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Kontaminasi 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. Manusia menggunakan air untuk keperluan sehari-hari, seperti 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. Apabila kondisi ini dibiarkan, ke depan 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 masyarakat, dapat diakibatkan oleh banyak hal, terutama yang berkaitan dengan aktifitas hidup manusia (Said dan Firly, 2005). Sebagai contoh materi pencemar yang ada dalam perairan dapat berasal dari limbah padat, limbah olahan bahan makanan, limbah zat kimia, limbah organik dan limbah anorganik; (1) Limbah padat yang dimaksud adalah bahan buangan yang berbentuk padat, baik yang kasar (butiran besar) maupun yang halus (butiran kecil); (2) bahan buangan olahan bahan makanan dapat juga dimasukkan ke dalam kelompok bahan buangan organik, namun dalam hal ini sengaja

dipisahkan karena bahan buangan olahan makanan menimbulkan bau busuk; (3) bahan buangan zat kimia banyak ragamnya, tetapi yang dimaksud disini ialah berupa sabun, insektisida, zat warna kimia, larutan penyamak kulit dan radioaktif; (4) bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, apabila dibuang ke air maka dapat menaikkan populasi mikroorganisme, contohnya seperti sisa-sisa sayur, buah dll; (5) bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme, apabila masuk ke perairan maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air (Wardhana, 2004).

Melihat banyaknya dampak yang ditimbulkan, maka diperlukan cara untuk mencegah terjadinya pencemaran air yaitu dengan melakukan pengelolaan limbah. Pengelolaan limbah cair menjadi semakin penting sebagai bagian dari upaya manusia untuk memperbaiki kualitas air (Milasari dan Ariyani, 2010). Saat ini telah dikembangkan suatu metode alternatif pengelolaan limbah yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan yaitu proses pengelolaan limbah dengan menggunakan makhluk hidup seperti mikroorganisme yang sering dikenal dengan istilah biosorpsi. Biosorpsi mempunyai keuntungan antara lain murah dan efisiensinya tinggi. Salah satu metode biosorpsi adalah dengan menggunakan mikroorganisme yang melekat pada suatu permukaan dengan membentuk biofilm (Chasanah, 2007).

Menurut Costerton *et al.*, (1978), istilah biofilm digunakan untuk mendefinisikan kelompok mikroba yang melekat pada sejumlah permukaan benda di lingkungan perairan maupun di permukaan benda lain seperti peralatan medis dan sistem perpipaan air industri. Selanjutnya Donlan (2000) juga mendefinisikan biofilm secara umum merupakan kumpulan sel-sel mikroba *irreversible* (tidak dapat dihilangkan dengan pembilasan) yang berhubungan

dengan permukaan tertutup oleh matriks yang tersusun dari materi polisakarida. Biofilm secara umum terbentuk pada permukaan benda padat yang berada di dalam atau terkena air. Biofilm tumbuh melalui tiga tahapan proses, yaitu: pertama tahap *initial*, yaitu tahap awal yang mencakup pelekatan bakteri ke substrat. Tahap kedua yaitu pertumbuhan bakteri yang mengarah pada kolonisasi dan tahapan yang ketiga yaitu terbentuknya biofilm. Pembentukan biofilm dilakukan dengan membentuk kumpulan seperti rantai panjang yang terangkai kemudian menjadi suatu kumpulan berupa lendir yang saling terikat dalam rantai polipeptida, serta memiliki sisi aktif untuk mengikat nutrisi dari lingkungan (Peterson *et al.*, 2003).

Biofilm mempunyai beberapa peranan penting di lingkungan perairan yaitu sebagai pendaur ulang nutrisi dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan perairan (Tsuchiya *et al.*, 2009). Biofilm mempunyai beberapa peran diantaranya yaitu, sebagai pendaur ulang nutrisi, 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). Berdasarkan penelitian sebelumnya, biofilm dapat menurunkan nilai TSS (*Total Suspended Solid*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Biofilm juga dapat menurunkan kadar amonia, nitrat dan nitrit dalam limbah domestik (Riva *et al.*, 2013; Adisuasono *et al.*, 2014; Ariani *et al.*, 2013). Untuk mengaplikasikan biosorpsi dalam teknologi pengelolaan limbah, penelitian untuk mengetahui kapasitas biofilm dalam menyerap bahan pencemar seperti logam berat sangat diperlukan.

Limbah logam berat yang berada di lingkungan perairan sangat membahayakan lingkungan maupun organisme, termasuk manusia. Logam berat

berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan efek negatif pada manusia yang dapat menimbulkan penyakit akut maupun kronis (Ghifari, 2011). Menurut Forstner dan Prosi (1978), faktor yang menyebabkan logam berat tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar ialah logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik dan logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama dalam sedimen sungai dan laut. Logam berat yang sering terdapat dalam pencemaran air adalah Hg, Pb, Zn, Cr, Cd, Ni, dan Cu dalam bentuk senyawa toksik.

Salah satu contoh logam berat yaitu tembaga. Tembaga yang masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun dari kegiatan manusia. Secara alamiah tembaga masuk kedalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Kegiatan manusia yang menyebabkan pencemaran tembaga disebabkan adanya kegiatan industri listrik, baterai dan kegiatan pertambangan (Palar, 2012). Kegiatan pertambangan yang menyebabkan pencemaran tembaga salah satunya yaitu PT Freeport di Kabupaten Mimika Provinsi Papua yang melakukan pertambangan tanpa pengolahan sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Secara keseluruhan, lebih dari 53.000 ton tembaga per tahun, yang dibuang ke sungai dalam bentuk buangan. Tingkat pencemaran logam berat semacam ini sejuta kali lebih buruk dibanding yang bisa dicapai oleh standar pencegahan pencemaran industri tambang (Suci, 2011 *dalam* Harits, 2013). Tingginya pencemaran tersebut dapat menyebabkan efek negatif untuk manusia seperti kerusakan hati, kerusakan ginjal, menurunnya tingkat intelegensia anak-anak pada masa pertumbuhan bahkan kerusakan otak (Widowati, 2008 *dalam* Sony, 2009).

Penelitian mengenai biosorpsi logam berat tembaga 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 tembaga.

### 1.2 Rumusan masalah

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

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

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat tembaga pada waktu dan konsentrasi yang berbeda.
2. Untuk mengetahui karakteristik adsorpsi logam berat tembaga oleh biofilm.

### 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

#### 1. Mahasiswa

Menambah pengetahuan dan wawasan tentang biosorpsi logam berat tembaga dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu, sehingga dapat digunakan untuk penulisan dan penelitian lebih lanjut.

#### 2. Progam Studi Manajemen Sumber Daya Perairan

Menambah sumber informasi keilmuan mengenai biosorpsi logam berat tembaga dengan menggunakan biofilm yang tumbuh pada batu, sehingga dapat digunakan untuk pengelolaan limbah industri khususnya limbah logam berat dan dapat menjadi dasar untuk penulisan dan penelitian lebih lanjut.

### 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.

#### 1.5 Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang pada Februari–April 2015. Pengukuran analisis logam berat tembaga sendiri dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran

Menurut Pemerintah Republik Indonesia tahun 2009 yang dimaksud dengan pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh proses alam atau kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Menurut Mukhtasor (2007), secara garis besar, ada dua cara bahan pencemar masuk ke lingkungan, yaitu secara alami, misalnya karena gunung meletus atau gelombang tsunami yang membawa polutan dan melalui kegiatan manusia, misalnya limbah rumah tangga, limbah transportasi, pertanian, pabrik dan lain-lain.

Substansi pencemar dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: (1) polutan fisik, yaitu polutan yang keberadaannya atau 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 pengelolaan 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) dan jenis anorganik (misalnya asam, alkali dan logam-logam berat dari industri) (Mukhtasor, 2007). Pencemaran menurut Sanusi dan Putranto (2009), pencemaran dapat berupa pencemaran fisik (misalnya lumpur, panas dan radioaktif), pencemaran biologis (misalnya perkembangbiakan ganggang / tumbuhan pengganggu) dan pencemaran kimia (misalnya bahan organik, mineral dan logam berat).

Logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm<sup>3</sup>, mempunyai nomor atom 22 sampai 92 dan terletak pada periode III sampai VII dalam susunan berkala (Dahuri, 1996 *dalam* Dewi, 2011). Kelompok logam berat ini ada ± 40 jenis. Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh, akumulasi logam berat menyebabkan tingginya konsentrasi 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 esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa di antaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun (Ridhowati, 2013).

Penggunaan logam berat tersebut dalam berbagai keperluan sehari-hari secara langsung maupun tidak langsung, atau sengaja maupun tidak sengaja telah mencemari lingkungan. Beberapa logam berat tersebut ternyata telah mencemari lingkungan melebihi batas yang berbahaya bagi kehidupan lingkungan. Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan terutama adalah tembaga (Cu), merkuri (Hg), timbal (Pb), arsen (As), kromium (Cr), nikel (Ni) dan kadmium (Cd) (Fardiaz, 1992). Pencemaran air oleh logam berat bersumber dari batu-batuan dan tumpahan lahar gunung merapi yang meletus, aktivitas industri biji logam, ekskresi manusia dan hewan serta sampah-sampah atau padatan yang dibuang ke perairan (Harahap, 1991). Logam berat yang berada di perairan biasanya berikatan dengan senyawa kimia atau dalam bentuk ion, bergantung pada ruang dimana logam berada. Begitu juga dengan tingkat kandungan logam juga sangat bervariasi bergantung pada lokasi dan tingkat pencemarannya (Lu, 1994).

## 2.2 Logam tembaga

Tembaga adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat yang melebur pada 1038°C. Potensial elektoda standarnya positif (+0,34 V), logam ini tidak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer (Sony, 2009). Logam ini banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas dan zat warna yang biasanya bercampur dengan logam lain seperti aloi dengan perak, kadmium, timah putih, dan seng (Merian, 1994 dalam Panjaitan, 2009).

Tembaga merupakan satu unsur yang penting dan diperlukan untuk pembentukan sel-sel darah merah, namun dalam jumlah besar dapat menyebabkan rasa tidak enak di lidah dan dapat menyebabkan kerusakan pada hati (Sutrisno, 2002 dalam Yuliasutiningsih *et al.*, 2015). Keracunan logam berat bersifat kronis dan dampaknya baru terlihat setelah beberapa tahun. Logam berat bersifat akumulatif di dalam tubuh organisme dan konsentrasi mengalami peningkatan (biomagnifikasi) dalam rantai makanan. Biomagnifikasi berhubungan langsung dengan manusia yang menempati posisi level puncak dalam rantai makanan karena konsentrasi logam berat yang dikandung dalam makanan manusia telah mengalami peningkatan mulai dari komponen tingkat dasar (produsen). Keracunan kronis tembaga dapat mengurangi umur, menimbulkan berbagai masalah reproduksi dan menurunkan fertilitas (Widowati, 2008 dalam Sony, 2009).

Unsur tembaga bisa ditemukan pada berbagai jenis makanan, air dan udara sehingga manusia bisa terpapar tembaga melalui jalur makanan, minuman dan saat bernafas (Sony, 2009). Tembaga merupakan mikroelemen esensial bagi tubuh, oleh karena itu tembaga harus selalu ada di dalam makanan. Hal yang perlu diperhatikan adalah menjaga agar kadar tembaga di dalam tubuh tidak berkurang dan juga tidak berlebihan. Kebutuhan tubuh per hari akan

tembaga adalah 0,05 mg/kg berat badan. Akumulasi Cu pada kadar tersebut tidak terjadi pada tubuh manusia normal (Ganiswara, 1995 dalam Dewi, 2011).

### 2.3 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 yang berada di dalam atau terkena air. 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 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% sampai 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.

#### 2.4 Pembentukan biofilm

Biofilm merupakan pertumbuhan mikroorganisme secara terstruktur pada permukaan padatan sehingga membentuk lapisan tipis. Pembentukan biofilm bakteri melalui 3 tahapan proses, yaitu tahap pelekatan bakteri pada permukaan padatan (*attachment*), kolonisasi, dan tahap pertumbuhan biofilm (Prakash *et al.*, 2003). Menurut Annachhatre dan Bhamidimarri (1992), pembentukan biofilm berasal dari organisme planktonik yang mengambang bebas. Sel planktonik tersebut terlebih dahulu berinteraksi dengan permukaan dan kemudian melampirkan diri ke permukaan. Permukaan yang terendam oleh larutan atau air biasanya memiliki konsentrasi dan muatan anorganik dan organik yang bersifat polar. Konsentrasi kation, glikoprotein, protein dan molekul organik yang berada di permukaan suatu substrat relatif memberikan asupan bagi bakteri dibandingkan dengan wilayah kolom perairan.

Beberapa dari sel bakteri terikat secara permanen pada permukaan material melalui pembentukan EPS terdiri dari sejumlah besar protein, polisakarida, asam nukleat dan fosfolipid. EPS berfungsi sebagai penghubung antar permukaan sel dan menjadi inisiasi pada pembentukan biofilm. Terbentuknya biofilm sebagai strategi bagi mikroorganisme untuk mempertahankan populasinya karena adanya EPS mencegah difusi senyawa-senyawa toksik yang membahayakan serta mengatur pertumbuhan sel (Ketut dan Nyoman, 2013). Menurut Donlan (2000), EPS ini mengandung kelompok

hidroksil dan karboksilat ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{COO}^-$ ) dalam jumlah besar. EPS sangat penting bagi kehidupan biofilm, karena terlibat langsung dalam membantu dalam agregasi dan pelekatan pada permukaan.

## 2.5 Biosorpsi

Menurut Volesky (2010) biosorpsi adalah bagian tertentu dari biomassa mikroba 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. Menurut Kumar (2004) dalam Nafie *et al.*, (2009) biosorpsi merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan penghilangan logam berat melalui pengikatan *passive* 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 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. 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 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. Proses tersebut dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat-penghambat metabolisme sel.

### 2.5.1 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 adsorpsi 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 dan Yenti, 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).

### 2.5.2 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 Peeva (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.

## 2.6 Parameter kualitas air

### 2.6.1 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 pada suatu 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. Pengaruh suhu sendiri sebenarnya kurang begitu jelas tetapi tetap harus dilakukan. Menurut Palar (2012), 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. Saat suhu air naik, senyawa logam berat akan terlarut 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.

### 2.6.2 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 sampai 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. Bentuk logam berat dalam lingkungan perairan, antara lain berupa 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, 2012).



### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah biofilm dan logam berat tembaga sebagai pengenalan tentang kemampuan biofilm dalam menyerap bahan pencemar khususnya tembaga. Berdasarkan 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.

#### 3.3 Metode penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimental. Menurut Hanafiah (1994), 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 pengamatan yang berbeda pada setiap grup sampel. Dengan adanya pengamatan 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. Eksperimen menurut metode ilmiah dapat diartikan sebagai 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).

### 3.4 Analisis data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis hubungan regresi. Analisis hubungan 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 *dependent* (C/N atau persamaan Langmuir)

X = variabel *independent* (Konsentrasi keseimbangan)

a = konstanta, perpotongan garis pada sumbu y

b = koefisien regresi

### 3.5 Tahapan penelitian

#### 3.5.1 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  $\pm 70$  cm lalu ditunggu selama 1 bulan. Batu yang sudah diletakkan selama 1 bulan, dimasukkan ke plastik kontainer berisi air di sekitar

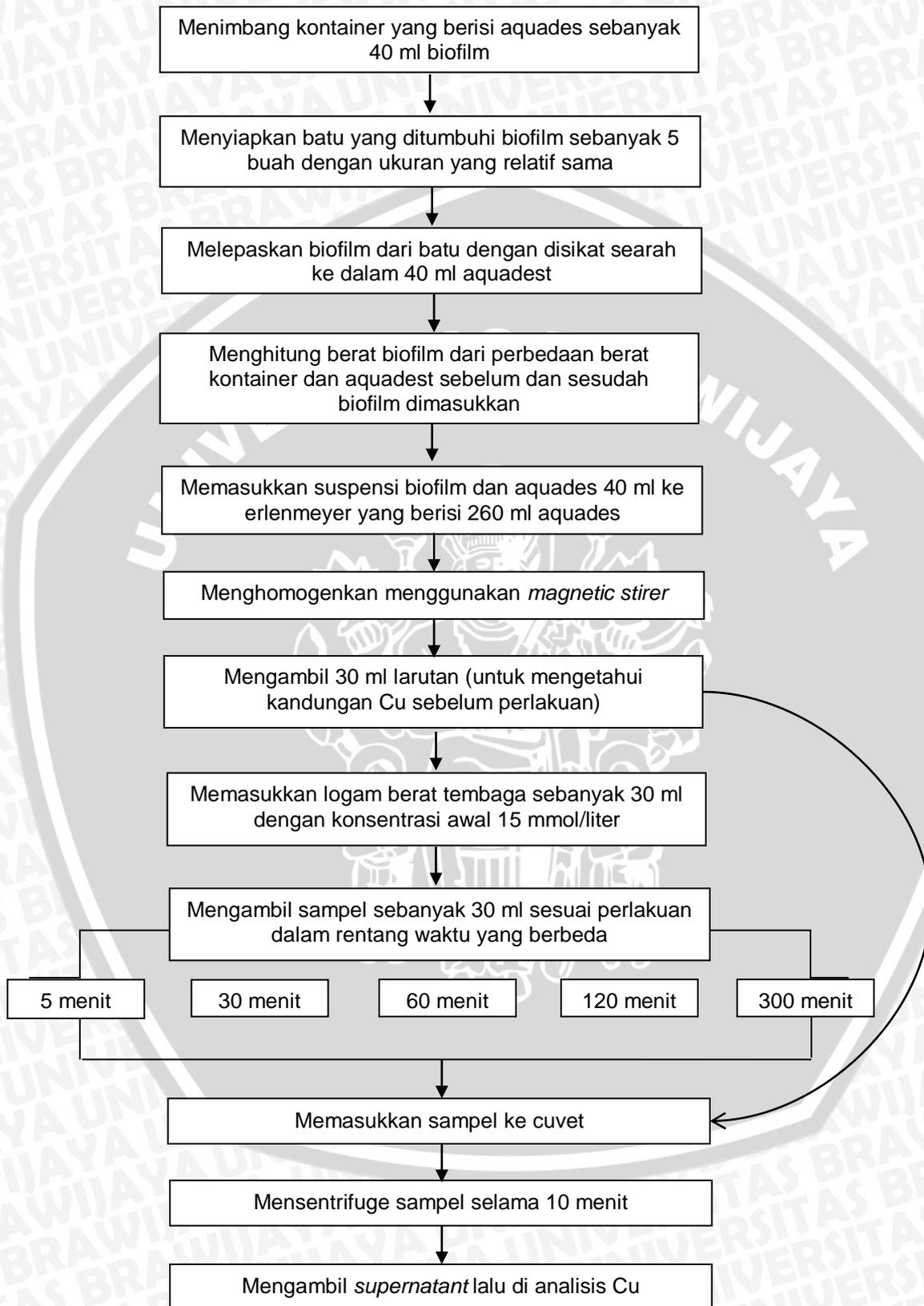
batu lalu dibawa ke Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan dalam box es dengan suhu  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5.2 Pembuatan larutan induk

Larutan induk Cu 800 mM, dibuat dengan cara melarutkan 64 g serbuk tembaga sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) dengan aquades sampai volume 500 ml.

### 3.5.3 Penentuan kinetik adsorpsi

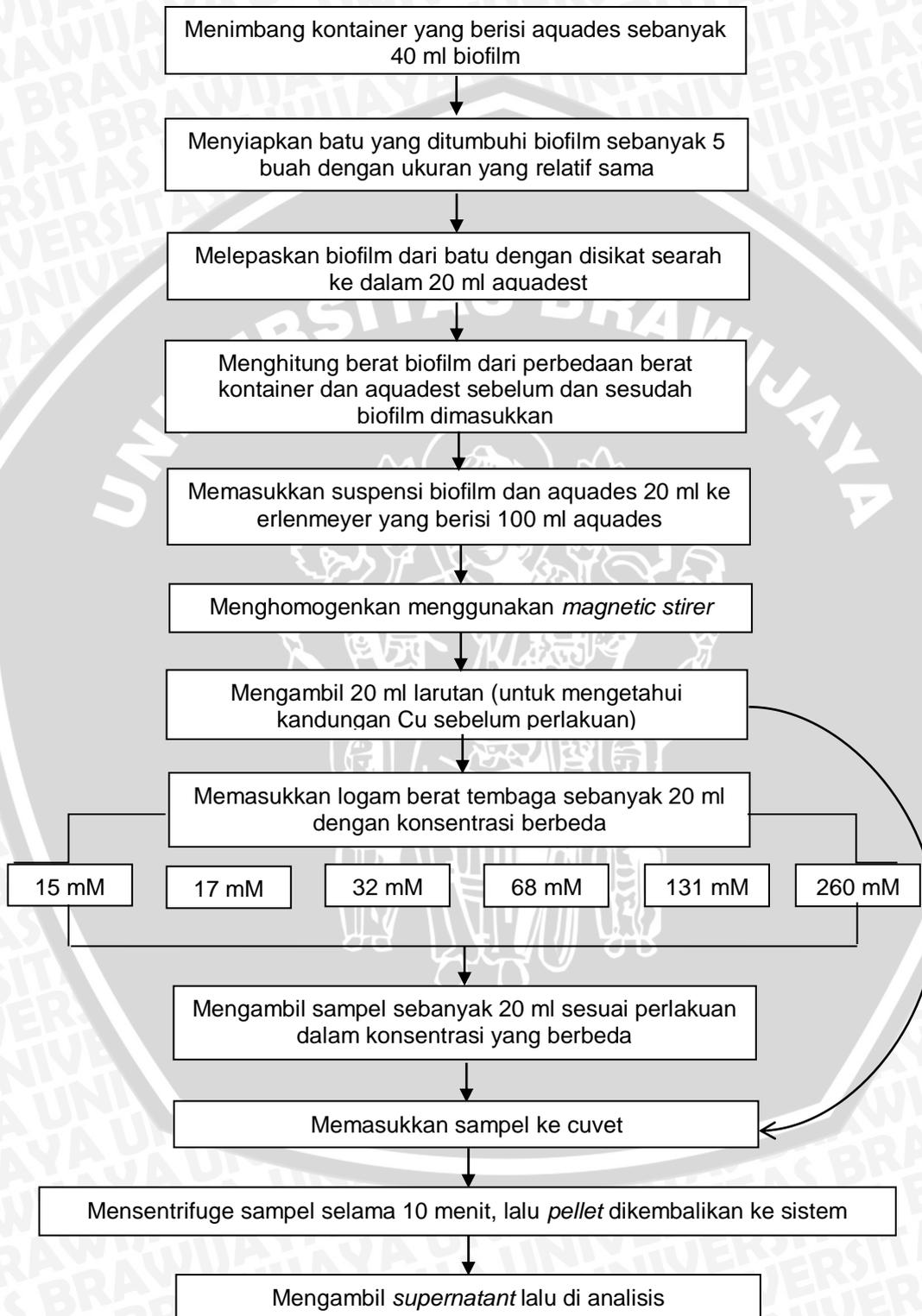
Penelitian kinetik adsorpsi dimaksudkan untuk menentukan tetapan laju adsorpsi yang didasarkan pada data pengaruh waktu terhadap jumlah logam berat tembaga yang teradsorpsi oleh biofilm. Variasi waktu yang digunakan pada kinetik adsorpsi yakni (5, 30, 60, 120 dan 300 menit) bertujuan untuk mengetahui kecepatan optimum penyerapan logam berat Cu oleh biofilm dengan konsentrasi awal logam berat Cu yang diberikan sebesar 15 mM. Penentuan konsentrasi yang diberikan pada kinetik adsorpsi sebesar 15 mM ini didapatkan dari hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan sebelumnya bahwa dengan konsentrasi ini waktu penyerapan optimum sudah tercapai, selain itu konsentrasi awal ini juga jauh di atas baku mutu perairan menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2004 yang mensyaratkan kadar maksimal konsentrasi Cu yang diperbolehkan dalam perairan sebesar 0,03215 mM. Berdasarkan hasil kinetik adsorpsi ini, nantinya akan diketahui waktu optimum penyerapan logam berat Cu oleh biofilm, dimana waktu optimum ini digunakan untuk pengamatan selanjutnya yaitu pada pengamatan penyerapan logam berat Cu oleh biofilm dengan konsentrasi yang berbeda atau disebut adsorpsi isotherm. Adapun prosedur dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1. Tahapan kinetik adsorpsi.**

### 3.5.4 Penentuan adsorpsi isoterm

Penelitian adsorpsi isoterm dilakukan untuk mengetahui akumulasi logam berat tembaga di biofilm pada konsentrasi logam berat Cu yang berbeda (15 mM–260 mM) (Gambar 2). Variasi konsentrasi yang diberikan pada adsorpsi isoterm ini bertujuan untuk melihat karakteristik penyerapan logam berat Cu oleh biofilm. 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). Adapun tahapan dari pengamatan adsorpsi isoterm ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Tahapan adsorpsi isoterm.

### 3.5.5 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 (1988), 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.

### 3.6 Analisis logam berat Cu

Pengukuran logam berat tembaga dilakukan di Laboratorium Lingkungan Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang oleh Laboran. Adapun prosedur pengukuran logam berat tembaga menurut Fernanda (2012), sebagai berikut:

1. Mengambil sampel air sebanyak 10 ml.
2. Menambahkan  $\text{HNO}_3$  sebanyak  $\pm 5\text{--}10$  ml.
3. Menguapkan diatas pemanas listrik sampai larutannya jernih.
4. Menempatkan filtrat uji pada labu ukur 25 ml dan menambahkan *aquadest* sampai tanda batas.
5. Mengukur filtrat uji ke dalam spektrofotometer serapan atom atau *Atonomic Absorption Spectrometry* (AAS) dengan panjang gelombang 324,7 nm.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Keadaan umum lokasi penelitian

#### 4.1.1 Sejarah Waduk Lahor

Menurut Dirjen Pengairan (1983), Waduk Lahor terletak pada Sungai Lahor (anak sungai Brantas), sejauh  $\pm 1,5$  km di sebelah utara Waduk Serbaguna Sutami atau terletak  $\pm 32$  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 merupakan satuan wilayah sungai (SWS) dari anak sungai Kali Brantas, berasal dari dua sungai yaitu anak sungai Lahor dan anak sungai biru (Fibriati, 2014). Data Teknis Waduk Lahor dapat dilihat pada Lampiran 2. 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 Karangates
- 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  $790 \text{ m}^3 / \text{det}$  hingga menjadi  $150 \text{ m}^3 / \text{det}$  dan sedimen yang menyebabkan pendangkalan sebesar  $35.000 \text{ m}^3 / \text{tahun}$  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  $35.000 \text{ kW}$  dan menaikkan tenaga listrik sebesar  $7.220.000 \text{ kWh/tahun}$ .

Manfaat lainnya dari pembangunan Waduk Lahor adalah untuk sarana irigasi dengan mengatur pemberian air irigasi di hilir, maka akan diperoleh penambahan daerah penanaman padi seluas  $1.100 \text{ Ha}$  pada musim kemarau. Dengan demikian akan menaikkan produksi padi dan palawija sebesar  $9.800 \text{ ton}$  setiap tahunnya. 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 Hasil penelitian pada biofilm**

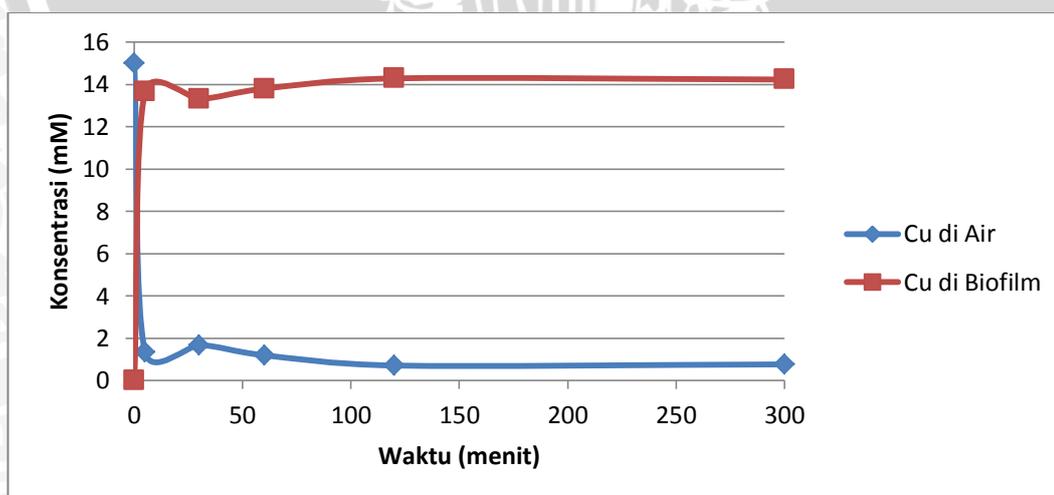
### **4.2.1 Kinetik adsorpsi**

Kinetik adsorpsi logam berat tembaga oleh biofilm diteliti dengan mempelajari penyerapan logam berat tembaga oleh biofilm pada waktu tunggu yang berbeda ( $5, 30, 60, 120$  dan  $300$  menit) dengan pengulangan 3 kali. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat tembaga pada waktu yang berbeda dan mengetahui waktu optimum adsorpsi logam berat tembaga oleh biofilm. Adapun data hasil akumulasi penyerapan logam tembaga dengan biofilm dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Akumulasi penyerapan logam Cu oleh biofilm.**

No	Waktu Pengamatan	Kadar Cu dalam air (mM)	Kadar Cu dalam biofilm (mM)	Akumulasi Penyerapan (mmol/gr)
1	Kontrol	15	0.002	0
2	5 menit	1,34	13,66	1,78
3	30 menit	1,68	13,32	1,74
4	60 menit	1,20	13,80	1,8
5	120 menit	0,72	14,28	1,86
6	300 menit	0,77	14,23	1,86

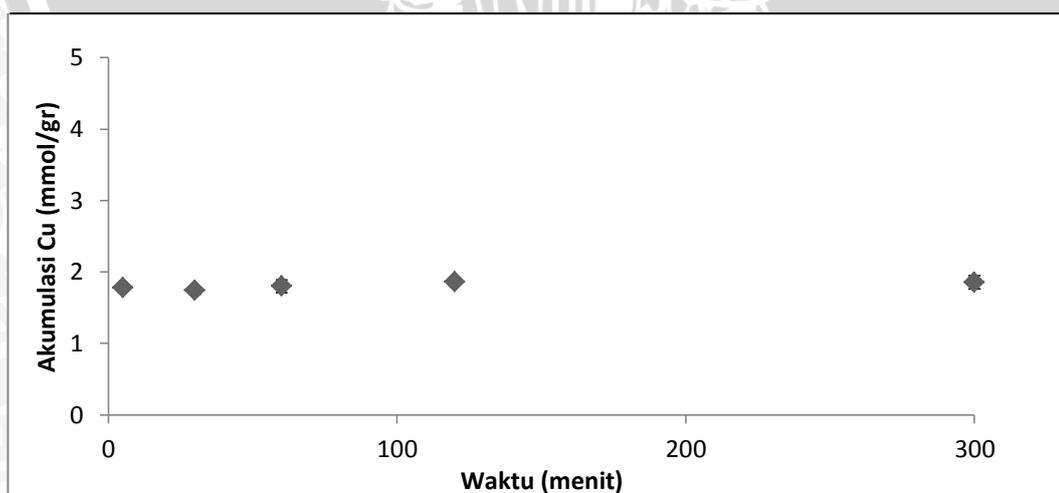
Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa akumulasi penyerapan logam tembaga pada perlakuan 5 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,34 mM. Konsentrasi tembaga pada perlakuan 30 menit menurun drastis dari 15 mM menjadi 1,68 mM. Selanjutnya pada perlakuan 60 menit, 120 menit, dan 300 menit juga menurun drastis dari 15 mM masing-masing menjadi 1,20 mM, 0,72 mM dan 0,77 mM. Hal tersebut dibuktikan juga dengan ditemukannya kandungan tembaga di dalam biofilm pada menit ke 5 sebesar 13,66 mM, menit ke 30 sebesar 13,32 mM dan pada menit ke 60, 120 dan 300 menit diperoleh sebesar masing-masing sebesar 13,80 mM, 14,28 mM dan 14,23 mM. Adapun data hasil akumulasi penyerapan logam tembaga oleh biofilm dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Kadar Cu.**

Gambar 3 menunjukkan kadar tembaga yang ada pada air sekitar biofilm berbanding lurus dengan kadar Cu pada biofilm. Menurunnya nilai Cu pada air sekitar biofilm, diikuti dengan naiknya kadar Cu di biofilm. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa biofilm mampu menyerap logam berat Cu. Pernyataan tersebut sesuai dengan pendapat Chasanah (2007), yang mengatakan bahwa biofilm mempunyai kemampuan menyerap kandungan logam berat yang terdapat pada perairan.

Penyerapan logam tembaga oleh biofilm pada penelitian ini cenderung stabil tidak mengalami perubahan dari awal penyerapan (5 menit) sampai akhir pengamatan (300 menit). Penyerapan logam Cu 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 4). Hasil ini menunjukkan tren yang sama dengan studi yang dilakukan oleh Kurniawan dan Yamamoto (2013) yang menunjukkan bahwa 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.

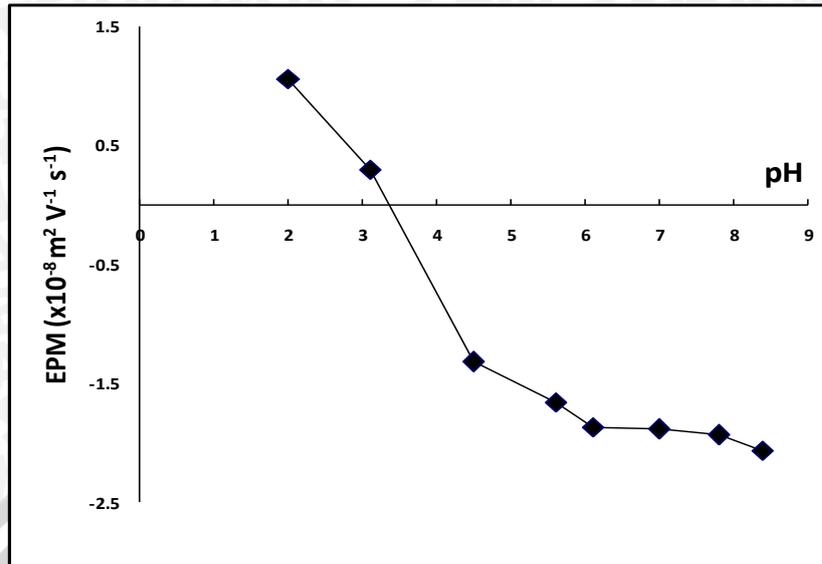


**Gambar 4. Akumulasi penyerapan logam berat Cu oleh biofilm.**

Karakter penyerapan yang cepat ini mengindikasikan jika adsorpsi logam berat tembaga 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*). Kurniawan *et al.*, (2012) juga melaporkan bahwa adsorpsi kation pada biofilm terjadi melalui proses fisika kimia.

Proses penyerapan tembaga 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 7. Hasil tersebut menandakan bahwa biofilm memiliki muatan negatif (Gambar 5).

Mekanisme pertukaran ion diperkirakan terjadi ketika logam berat tembaga 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 5. Hasil pengukuran EPM.**

Sumber : Kurniawan *et al.*, (2012)

Berdasarkan pembahasan diatas, diketahui bahwa biofilm mempunyai kemampuan cukup besar sebagai biosorben logam berat khususnya tembaga. Hal tersebut sesuai dengan perhitungan efektifitas kemampuan penyerapan biofilm yang didapatkan pada penelitian ini yaitu kurang lebih sebesar 91 %. 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 tembaga dengan nilai efektifitas 55,9 %, lalu dengan arang aktif sekam mempunyai efektifitas sebesar 46,7 % dan arang aktif tempurung kelapa mempunyai efektifitas sebesar 37,5 % dengan waktu masing-masing penyerapan maksimal adalah 120 menit. Melihat nilai efektifitas penyerapan logam Cu oleh biofilm yang lebih besar dibandingkan biosorben lainnya, jadi dapat dikatakan bahwa biofilm memiliki potensi untuk menjadi biosorben yang lebih efektif dalam menyerap logam berat khususnya tembaga.

#### 4.2.2 Adsorpsi isoterm

Pola adsorpsi isoterm logam berat tembaga oleh biofilm pada penelitian ini, didapatkan berdasarkan pada konsentrasi yang berbeda (15 mM–260 mM). Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat tembaga pada konsentrasi keseimbangan (dimana penyerapan ion oleh biofilm terjadi) yang berbeda. Adapun data hasil pola adsorpsi isotherm tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

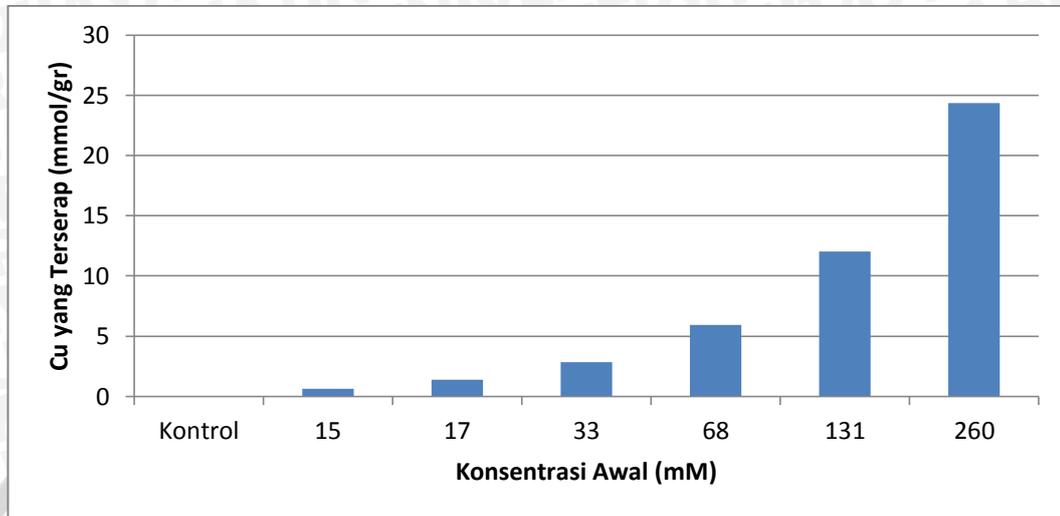
**Tabel 2. Akumulasi penyerapan logam Cu pada konsentrasi berbeda. Penelitian diulang sebanyak 3 kali.**

No	Pengamatan (mM)	Konsentrasi Keseimbangan (mM)	Penyerapan (mmol/gr)
1	Kontrol	0	0
2	15	12,86	0,64
3	17	14,46	1,37
4	33	29,48	2,84
5	68	62,02	5,94
6	131	121,99	12,04
7	260	246,77	24,38

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa akumulasi penyerapan logam tembaga pada perlakuan 15 mM sebesar 0,64 mmol/gr, pada perlakuan 17 mM sebesar 1,37 mmol/gr. Selanjutnya pada perlakuan 33 mM, 68 mM, 131 mM dan 260 mM masing-masing diperoleh akumulasi Cu pada biofilm adalah sebesar 2,84 mmol/gr, 5,94 mmol/gr, 12,04 mmol/gr dan 24,38 mmol/gr.

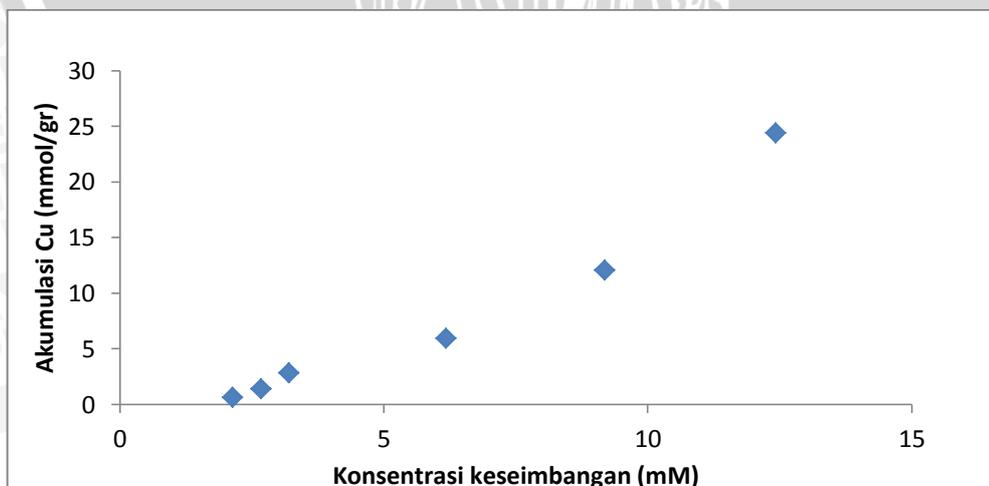
Nilai akumulasi penyerapan pada konsentrasi tertinggi dalam penelitian ini diketahui sebesar 24,38 mmol/gr (Gambar 6). Nilai tersebut termasuk sangat tinggi jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya seperti yang dilaporkan oleh Yu *et al.*, (1999) dalam Lam dan Fang (2001) yang menyatakan bahwa akumulasi penyerapan logam Cu sebesar 0,0012 mmol/gr dengan adsorban algae, Wase *et al.*, (1997) dalam Lam dan Fang (2001) yang

menyatakan bahwa akumulasi penyerapan maksimum logam Cu sebesar 0,0004 mmol/gr dengan adsorban fungi.



**Gambar 6. Akumulasi penyerapan logam berat Cu oleh biofilm pada konsentrasi berbeda.**

Kemampuan biofilm dalam menyerap logam Cu mengalami kenaikan terus menerus dari konsentrasi terendah yaitu 15 mM bahkan hingga konsentrasi tertinggi yaitu 260 mM. Hal tersebut menunjukkan hingga konsentrasi 260 mM, kemampuan biofilm dalam menyerap logam Cu diduga belum mencapai nilai maksimal. Lebih lanjut untuk mengetahui pola adsorpsi isoterm berdasarkan nilai akumulasi Cu dan konsentrasi keseimbangan dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7. Adsorpsi isoterm Cu oleh biofilm.**

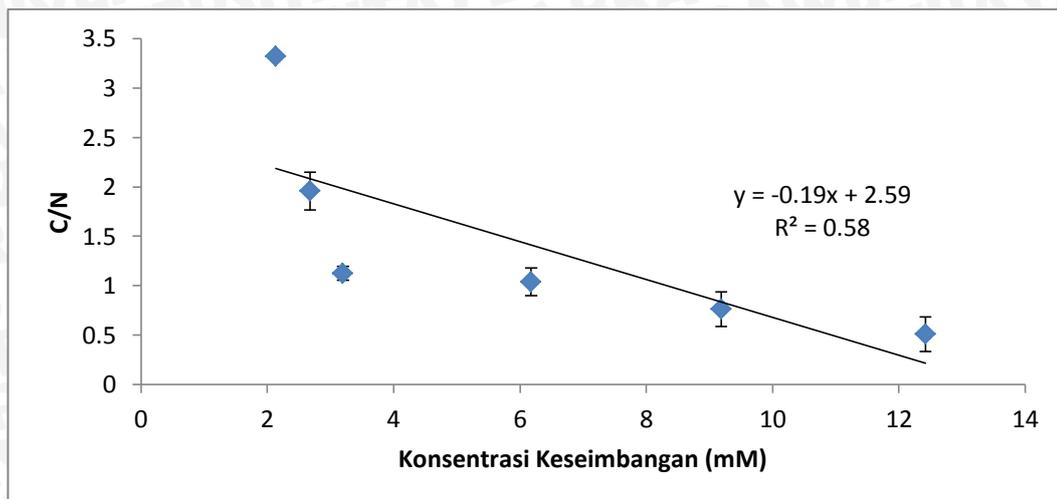
Gambar 7 menunjukkan pola adsorpsi isoterm penyerapan logam Cu oleh biofilm pada perlakuan 15 mM–260 mM. Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa akumulasi logam berat Cu oleh biofilm dalam penelitian ini terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi keseimbangan. Konsentrasi keseimbangan tertinggi yang dicapai dalam penelitian ini adalah 12,34 mM. Nilai konsentrasi ini jauh melebihi standar baku mutu perairan untuk logam berat Cu menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2004 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013 yang mensyaratkan kadar maksimal konsentrasi Cu yang diperbolehkan dalam perairan sebesar 0,03215 mM.

Selanjutnya untuk mengetahui model yang terbentuk pada adsorpsi logam berat Cu ke dalam biofilm, maka akumulasi Cu pada penelitian ini dijelaskan dengan persamaan Langmuir isoterm (Gambar 8). Adapun persamaan rumus perhitungan Langmuir isoterm adalah sebagai berikut ini:

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

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 8. Konsentrasi keseimbangan logam Cu di biofilm. Penelitian diulang 3 kali, bar menunjukkan standar deviasi.**

Pemplotan nilai C/N sebagai sumbu y dan konsentrasi keseimbangan (c) sebagai sumbu x akan menghasilkan garis lurus dengan *slope* menunjukkan  $1/N_{max}$  dan *intercept* sumbu y sebagai  $1/(N_{max}) b$  (Kurniawan *et al.*, 2012).

Gambar 8 menunjukkan model adsorpsi isoterm Langmuir untuk penyerapan logam berat Cu. Berdasarkan perhitungan, didapatkan hasil persamaan yaitu  $y = -0,19x + 2,59$  yang menunjukkan apabila  $x = 0$  maka nilai C/N sebesar 2,59. Nilai  $R^2$  yang diperoleh dari hasil tersebut sebesar 0,58. Nilai tersebut yang menunjukkan bahwa hasil konsentrasi keseimbangan yang didapatkan sesuai dengan persamaan Langmuir. Selanjutnya analisis perhitungan untuk menjabarkan model ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi hitung SPSS V.2.0 metode regresi linear dimana didapatkan nilai  $R^2$  sebesar 0,58, hal ini mengidentifikasi bahwa penyerapan logam berat Cu pada biofilm dalam penelitian ini dapat dijelaskan dengan persamaan adsorpsi isoterm Langmuir. Menurut Wardani dan Muzakky (2007), nilai koefisien determinasi yang lebih dari 0,5 atau mendekati 1 akan mempunyai derajat signifikan yang tinggi atau sangat berpengaruh. Berdasarkan hasil tersebut menandakan bahwa adsorpsi pada biofilm terjadi pada satu lapisan atau

*monolayer*. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Apriliyani (2010), yang mengatakan bahwa adsorpsi *monolayer* terjadi karena adanya ikatan kimia, sehingga logam tersebut terikat pada permukaan adsorben.

#### 4.3 Karakteristik biosorpsi

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa mekanisme penyerapan yang dilakukan biofilm untuk menyerap logam Cu adalah *passive uptake*, ditandai dengan waktu penyerapan yang terjadi sangat cepat. Waktu penyerapan ion logam tercepat Cu 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 Cu 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 Cu akan menempati polimer biofilm yang memiliki muatan listrik negatif tersebut, sehingga dengan begitu logam Cu 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 Cu 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 (Gambar 3). 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), 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 (Gambar 6). 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 Apriliyani (2010) proses biosorpsi dipengaruhi oleh suhu, pH dan kelarutan ion. Suhu yang didapatkan pada penelitian ini relatif tidak berubah berkisar antara 27<sup>0</sup> C–30<sup>0</sup> C. Hal ini menunjukkan eksperimen yang dilakukan pada suhu ruangan tidak terlalu berpengaruh terhadap proses biosorpsi yang diindikasikan dari akumulasi ion sejak awal hingga akhir pengamatan cenderung sama, meskipun bakteri atau mikroorganisme dapat mengalami pertumbuhan pada suhu tersebut. Selanjutnya untuk pH yang diperoleh pada penelitian ini mengalami penurunan dari 7 menjadi 6,8. Penurunan pH ini mengindikasikan bahwa pertukaran ion terjadi, karena atom hidrogen yang sebelumnya terikat di biofilm diduga terlepas

dan digantikan dengan Cu. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Khan (1978) dalam Mukhtar *et al.*, (2003) yang mengatakan bahwa adsorpsi akan terjadi secara signifikan 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:

- Kemampuan biofilm dalam menyerap logam berat tembaga pada waktu 5–300 menit relatif sama, dibuktikan dengan akumulasi penyerapan logam tembaga pada 5 menit ke 5 sebesar 1,34 mM, pada waktu 30 menit sebesar 1,68 mM. Selanjutnya pada waktu 60 menit, 120 menit, dan 300 menit masing-masing sebesar 1,20 mM, 0,72 mM dan 0,77 mM. Berdasarkan perbedaan konsentrasi yaitu 15 mM–260 mM, diketahui bahwa akumulasi penyerapan logam tembaga pada perlakuan 15 mM sebesar 0,64 mmol/gr, pada perlakuan 17 mM sebesar 1,37 mmol/gr. Selanjutnya pada perlakuan 33 mM, 68 mM, 131 mM dan 260 mM masing-masing diperoleh akumulasi Cu pada biofilm adalah sebesar 2,84 mmol/gr, 5,94 mmol/gr, 12,04 mmol/gr dan 24,38 mmol/gr.
- Karakteristik penyerapan logam berat tembaga oleh biofilm diketahui melalui mekanisme penyerapan *passive uptake*.

### 5.2 Saran

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisuasono, R.T., I. W. Wardhana. dan E. Sutrisno. 2013. Penurunan Konsentrasi Amoniak Dalam Limbah Cair Domestik Dengan Teknologi Kolam (*Pond*) - Biofilm Menggunakan Media Biofilter Pipa PVC Sarang Tawon Dan Bata Ringan. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Annachhatre, A.P. and S.M.R. Bhamidimarri. 1992. Microbial attachment and growth in fixed-film reactors: Process startup considerations.
- Apriliani, A. 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. Sumiyati 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.
- Bloom, J. H. 1988. Chemical and Physical Water Quality Analysis. Nuffic UNIBRAW/LUW/Fish. Malang.
- 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.
- Costerton, J. W., G. G. Geesey and K. J. Cheng. 1978. How Bacteria Stick. *Sci. Am.* **238** : 86-95.
- Das, N., L.V. Geetanjali., J. S. Salam and E. A. M. Abigail. 2012. Application of Biofilms on Remediation of Pollutants – An Overview. Scholars Research Library. *Microbiol. Biotech.* **2(5)** : 783–790.
- Davies, G., M.R. Parsek., J.P. Pearson., B.H. Iglewski., J.W. Costerton and E.P. Greenberg. 1998. The Involvement of Cell-to-Cell Signals in the Development of a Bacterial Biofilm. *Journal Science.* **2(8)** : 295–297.
- Dewi. 2011. Analisis Cemar Logam Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan Kadmium (Cd) dalam Tepung Gandum Secara Spektrofotometri Serapan Atom. Skripsi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Program Studi Farmasi. Universitas Indonesia. Depok.
- Direktorat Jendral Pengairan. 1983. Pedoman (Manual) Pembuatan Bendungan Pengendali Sedimen Untuk Program Bantuan Penghijauan dan Reboisasi. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta.

- Donlan, R.M. 2002. Biofilms: Microbial Life on Surfaces. Emerging Infectious Diseases. **8(9)** : 881–890.
- Effendie, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan ke 1. Penerbit: Kanisius. Yogyakarta.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air & Udara. Cetakan ke 1. 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 Karangates Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang, Jawa Timur. Praktek Kerja Lapang. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya Malang. Malang.
- Forstner, U and F. Prosi. 1978. Proceedings of the Course Held at the Joint Research Centre of the Commission of European Communities. Ispra Pergamon Press. Oxford.
- Goldman, C.R and A.J Horne. 1983. Limnology. Cetakan ke 2. Mc Graw Hill International Book Company. Tokyo.
- Ghifari, A.S. 2011. Biosorpsi Logam Berat Di Lingkungan Akuatik Menggunakan Limbah Sekam Padi (*Oryza Sativa* L.) Sebagai Biosorben. Universitas Indonesia. Depok.
- Hanafiah, K. A. 1994. Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi. Cetakan ke 3. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hanum, W. K., Etmal dan A. F. Ridwan. 2013. Efektivitas Biofilm *Pseudomonas Putida* dengan 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.
- Harahap, S. 1991. Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung Ditinjau dari Sifat Fisikokimia Khususnya Logam Berat dan Keanekaragaman Jenis Hewan Makrobenthos. Tesis. Program Pasca Sarjana Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Harits, M. 2013. Makalah Freeport. <https://www.scribd.com/doc/207763731/makalah-freeport-docx#download>. Diakses pada 2 Juli 2015.
- Herlandien, Y.L. 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.S. dan S.R. Yenti. 2013. Studi Kinetika Adsorpsi Logam  $\text{Cu}^{2+}$  Dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktifasi. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau. Riau.

Hutabarat, S dan Evans. 1985. Pengantar Oseanografi. Cetakan ke 3. Jakarta: Universitas Indonesia.

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

Kordi dan Tancung. 2005. Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan. Cetakan ke 1. Rineka Cipta. Jakarta.

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

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

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

\_\_\_\_\_, A., T. Yamamoto., Y.Tsuchiya and H. Morisaki. 2012. Analysis of the Ion Adsorption–Desorption Characteristics of Biofilm Matrices. *Microbes Environ.* **27(04)** : 399–406.

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

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

Kusmiyati., I. Setyawan., D. Vitasari., dan A.M. Fuadi. 2009. Kinetika Dan Termodinamika Adsorpsi Vertigo Blue 49 Dengan Adsorben 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, F. 1994. Toksikologi Dasar. Cetakan ke 2. 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, L. 2006. Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn Dan Pola Sebarannya Di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Milasari, N.I. dan S. B. Ariyani. 2010. Pengelolaan 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. Cetakan ke 1. Penerbit PT. Pradnya.
- Nafie, N.L., 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. 2012. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Cetakan ke 4. Penerbit: Rineka Cipta. Jakarta.
- Panjaitan, G.Y. 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.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2009. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri dan Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur. Surabaya. Jawa Timur. Indonesia.
- Perum Jasa Tirta I. 2014. Profil Waduk Sutami dan Lahor.
- Peterson, I and I. Jafar. 2003. The Ecology of Running Water. University of Toronto Press. Tokyo.
- Prakash, B., B.M. Veeregowda dan G. Krishnappa. 2003. Biofilms : A Survival Strategy of Bacteria. *Current Sci*. **85(9)**: 1299–1307.

- Ridhowati, S. 2013. Mengenal Pencemaran Ragam Logam. Cetakan ke 1. Penerbit: Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rittman, B.E. dan P.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.
- Said, N.I dan Firly. 2005. Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengelolaan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *JAI*. **1**(3).
- Sanusi, H.S. dan S. Putranto. 2009. Kimia Laut & Pencemaran. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sony. 2009. Penentuan Kadar Logam Seng (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, B. 2013. Statistika Terapan Disertai Contoh Aplikasi dengan SPSS. Cetakan ke 1. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sukardjo, 1990. Kimia Anorganik. Cetakan ke 2. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Sulastrri, S., Nuryono., I. Kartini., dan E.S. Kunarti. 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.
- Sunarya, A.I. 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.
- 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, G.O., H.B. Kaplan., and R. Kolter. 2000. Biofilm Formation as Microbial Development. *Journal Microbial*. **(54)** : 49–79.
- Trihendradi, C. 2004. SPSS 12 Statistik Inferen Teori Dasar & Aplikasinya. Cetakan ke 1. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Tsuchiya, Y., M. Ikenaga., A. Kurniawan., A. Hirak.i, T. Arakawa., R. Kusakabe., dan H. Morisaki. 2009. Nutrien-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. Cetakan ke 3. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

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

Wardhana, W. A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Cetakan ke 2. Penerbit : Andi. Yogyakarta.

Yuliasutiningsih., L.E. Radiati., dan D. Rosyidi. 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	pH meter	Mengukur pH
3	Timbangan Digital	Mengukur berat biofilm
4	Sentrifuge	Memisahkan larutan dengan <i>pellet</i>
5	Magnetik stirer	Membantu menghomogenkan larutan
6	Labu erlenmeyer	Menghomogenkan larutan
7	Gelas ukur	Membantu mengambil larutan
8	Gelas piala	Membantu menimbang logam berat
9	Tabung reaksi	Sebagai wadah pada saat di sentrifuge
10	<i>Mikropipet</i>	Mengambil larutan
11	Erlenmeyer	Sebagai wadah mencampur larutan

## b. Bahan

No	Alat	Fungsi
1	Logam Berat Cu	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<sup>2</sup>
- Muka Air Tinggi (MAT) : EL. 272,70 m
- Muka Air Rendah (MAR) : EL. 253,00 m
- Daerah Terendam : 2,60 Km<sup>2</sup>
- Kapasitas Kotor : 36.100.000 m<sup>3</sup> (1977)  
: 28.320.000 m<sup>3</sup> (2009)
- Kapasitas Efektif : 29.400.000 m<sup>3</sup> (1997)  
: 23.990.000 m<sup>3</sup> (2009)
- Debit masuk rata-rata : 2,00 m<sup>3</sup>/dt
- Debit rencana banjir : 790,00 m<sup>3</sup>/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<sup>3</sup>

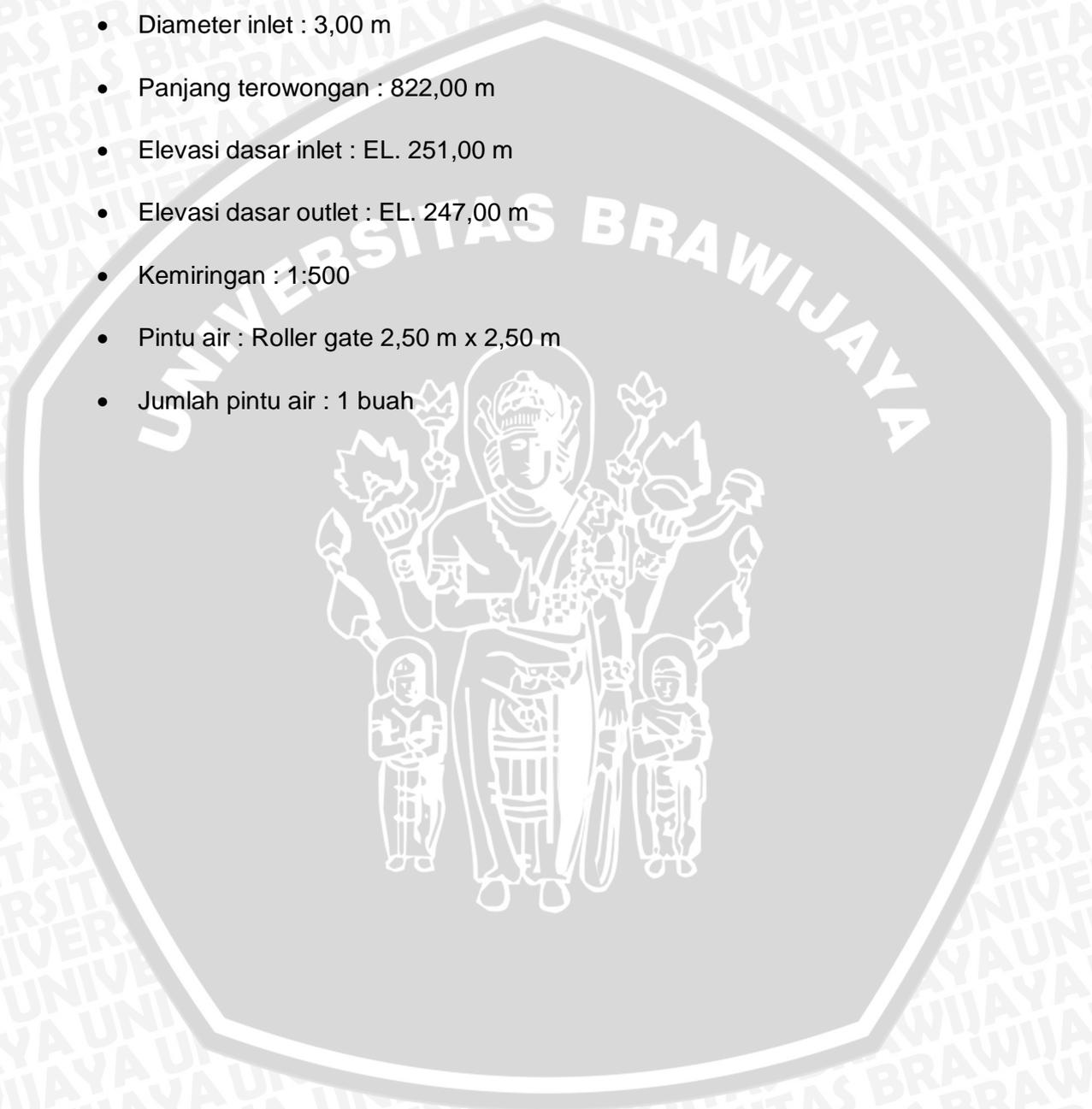
### 3. Bangunan Pelimpah/Spillway

- Type : Non gate Overflow Weir
- Elevasi ambang pelimpah : EL. 272,70 m
- Lebar pelimpah : 35,00 m
- Kapasitas : 790 m<sup>3</sup>/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 Hasil Pengukuran	Standard Deviasi	Akumulasi	Volume (L)	mmol/L	Berat biofilm (gr)	q (mmol/gram)
Perlakuan	mM							
Kontrol 1	0.02	0.02	0.00	0.02	0.3	0.01	2.3	0.00
2	0.02							
3	0.023							
5 Menit 1	1.33	1.34	0.05	13.66	0.27	3.69	2.07	1.78
2	1.41							
3	1.29							
30 Menit 1	1.56	1.68	0.09	13.32	0.24	3.20	1.84	1.74
2	1.78							
3	1.71							
60 Menit 1	1.19	1.20	0.04	13.80	0.21	2.90	1.61	1.80
2	1.16							
3	1.26							
120 Menit 1	0.74	0.72	0.09	14.28	0.18	2.57	1.38	1.86
2	0.82							
3	0.59							
300 Menit 1	0.87	0.77	0.07	14.23	0.15	2.13	1.15	1.86
2	0.69							
3	0.76							

Keterangan :

Akumulasi = Hasil penyerapan logam berat Cu oleh biofilm

Volume = Volume yang digunakan

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

Adsorpsi Isoterm

Hasil Pengukuran		Rata-rata Hasil Pengukuran	Standard Deviasi	Akumulasi (mM)	Volume (L)	mmol/l	Berat biofilm (gr)	q (mmol/gram)
Perlakuan	mM							
Kontrol 1	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12	0.00	2.40	0.00
2	0.01							
3	0.01							
15 mM 1	2.13	2.14	0.19	12.86	0.12	1.54	2.40	0.64
2	1.91							
3	2.38							
17 mM 1	2.67	2.68	0.07	14.46	0.12	1.74	2.40	1.37
2	2.59							
3	2.77							
33 mM 1	3.02	3.20	0.14	29.48	0.12	3.54	2.40	2.84
2	3.36							
3	3.22							
68 mM 1	6.08	6.18	0.17	62.02	0.12	7.44	2.40	5.94
2	6.42							
3	6.03							
131 mM 1	9.00	9.19	0.18	121.99	0.12	14.64	2.40	12.04
2	9.42							
3	9.14							
260 mM 1	12.39	12.42	0.10	246.77	0.12	29.61	2.40	24.38
2	12.56							
3	12.31							

Keterangan :

- Akumulasi = Hasil penyerapan logam berat Cu oleh biofilm
- Volume = Volume yang digunakan
- Q = Kemampuan penyerapan logam berat Cu 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	.761 <sup>a</sup>	.579	.474	.75245

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.595	.575		4.510	.011
	KESEIMBANGAN	-.191	.082	-.761	-2.348	.079

a. Dependent Variable: LANGMUIR

