ANALISIS KEMAMPUAN BIOSORPSI LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Oleh:

ELVANDARI JAELANI SAPUTRI

NIM. 115080101111074

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

ANALISIS KEMAMPUAN BIOSORPSI LOGAM BERAT NIKEL (Ni) 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

Malang

Oleh :

ELVANDARI JAELANI SAPUTRI

NIM. 115080101111074

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

SKRIPSI

ANALISIS KEMAMPUAN BIOSORPSI LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU

Oleh :

ELVANDARI JAELANI SAPUTRI

NIM. 115080101111074

telah dipertahankan didepan penguji

pada tanggal 01 Juli 2015

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

SK Dekan No. : …….

Tanggal : ……

Dosen Penguji I

Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H., MS
NIP. 19570704 198403 2 001
Tanggal:

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan MSP

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

Dosen Pembimbing II

Andi Kurniawan, S.Pi, M.Eng, D.Sc
NIP. 19790331 200501 1 003
Tanggal:

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Laporan Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

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

Malang, 21 Mei 2015

Mahasiswa

Elvandari Jaelani Saputri

NIM. 115080101111074

RINGKASAN

ELVANDARI JAELANI SAPUTRI. SKRIPSI tentang Kemampuan Biosorpsi Logam Berat Nikel 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**)

Perkembangan industri yang semakin pesat dapat memberikan dampak yang positif dan negatif terhadap manusia. Pembuangan limbah dari industri-industri tersebut dapat menyebabkan adanya bahan pencemar seperti logam berat Ni yang sangat berbahaya yang dapat menyebabkan keracunan ataupun kerusakan lingkungan perairan. Sehingga perlu dilakukan sebuah upaya untuk mengurangi kandungan konsentrasi logam berat Ni didalam lingkungan perairan dengan menggunakan berbagai metode seperti biosorpsi dengan menggunakan biofilm.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu optimum yang dibutuhkan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat nikel, untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam nikel dan untuk mempelajari karakteristik adsorpsi logam berat nikel oleh biofilm. Penelitian dilakukan di laboratorium Bioteknologi dan Lingkungan Perairan FPIK dan Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2015.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen dengan analisis data menggunakan analisis uji regresi linier sederhana mengingat hubungan antara (variabel X dan Y) yang berbeda. Data tersebut diambil dari nilai konsentrasi logam Ni didalam air dan jumlah logam Ni yang terakumulasi didalam biofilm. Sampel biofilm yang tumbuh pada batu diambil di waduk Lahor, Kabupaten Malang. Penelitian kinetik adsorpsi bertujuan untuk memperoleh tetapan laju adsorpsi berdasarkan data pengaruh waktu. Waktu kesetimbangan yang didapat pada penelitian ini akan digunakan sebagai waktu kontak untuk penelitian adsorpsi isoterm. Penelitian adsorpsi isoterm bertujuan untuk mengetahui konsentrasi kesetimbangan berdasarkan variasi konsentrasi yang berbeda. Untuk mengetahui model adsorpsi yang terbentuk menggunakan model persamaan adsorpsi isoterm *Langmuir.* Parameter fisika dan kimia yang diukur selama proses biosorpsi berlangsung adalah suhu dan pH.

Pada proses kinetik adsorpsi, jumlah logam Ni yang diserap oleh biofilm pada waktu 0-300 menit cenderung konstan. Waktu untuk mencapai konsentrasi kesetimbangan yang didapat dalam penelitian ini adalah 5 menit. Nilai efektivitas penyerapan cenderung konstan yaitu berkisar rata-rata 97%. Berdasarkan proses adsorpsi isoterm nilai kapasitas adsorpsi yang didapat sebesar 24,08 mmol/gr dan konsentrasi kkeseimbangan yang dapat dicapai sebesar 18 mM dengan nilai R^2 sebesar 0,75 yang menandakan bahwa proses penyerapan mengacu pada adsorpsi isoterm *Langmuir*.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa biofilm bisa dijadikan sebagai salah satu alternatif adsorben dalam proses biosorpsi logam berat seperti nikel (Ni).

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan SKRIPSI dengan judul "ANALISIS KEMAMPUAN BIOSORPSI LOGAM BERAT NIKEL (Ni) DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILM YANG TUMBUH PADA BATU".

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

Malang, 21 Mei 2015

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam menyelesaikan laporan ini, penulis telah mendapatkan begitu banyak bantuan baik berupa materi, fisik maupun spiritual sehingga laporan ini bisa terselesaikan. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Besar Muhammad SAW atas segala rahmat dan karuniaNya.
2. Kedua orang tua saya, H. Jaelani Rohibih dan Hj. Maryatin Nurdin Titin, kakak saya Meifani Saputri, ST dan Marathia Angelina, SP serta keluarga yang saya cintai yang selalu membantu, mendukung dan mendo'akan saya.
3. Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si dan Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, memberikan arahan dan motivasinya.
4. Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H., MS selaku dosen penguji atas saran dan kritik yang telah diberikan untuk melengkapi penulisan skripsi ini.
5. "ULBUL" (Ayu, Lutfi, Intan, Meta, Nia, Naya, Ima dan Fina) yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama 4 tahun ini.
6. Anastasia, Asvita, Dara, Dyah, Maya, Nabila, Nurfitria, Sabrina atas segala semangat dan dukungannya dari SMA sampai Kuliah.
7. Dispersed Biofilm Team yang selalu membantu, serta teman-teman MSP 2011 yang selalu memberikan dukungan.
8. Semua pihak dan orang-orang yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**

PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **iii**

RINGKASAN ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **v**

UCAPAN TERIMAKASIH ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **vii**

DAFTAR GAMBAR ..... **ix**

DAFTAR TABEL ..... **x**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**

1. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 4
1.4 Kegunaan Penelitian 4
1.5 Hipotesis 5
1.6 Tempat dan Waktu 5

2. TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1 Pencemaran 6
2.2 Logam Berat 7
2.3 Logam Berat Nikel (Ni) 9
2.4 Biofilm 10
2.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Biofilm dalam Pengolahan Limbah 11
2.5 Biosorpsi 14
2.6 Parameter Kualitas Air 17
Suhu 17
Derajat Keasaman (pH) 17

3. MATERI DAN METODE **19**
3.1 Materi Penelitian 19
3.2 Alat dan Bahan 19
3.3 Metode Penelitian 19
3.4 Prosedur Penelitian 20
3.4.1 Penanaman Biofilm 20
3.4.2 Pemisahan Sampel Biofilm dari Media Batu 21
3.4.3 Penelitian Kinetik Adsorpsi 21
3.4.4 Penelitian Adsorpsi Isoterm 23
3.4.5 Pembuatan Larutan Logam Berat Ni Buatan 25

3.5 Analisis Logam Berat Nikel (Ni) 26
3.6 Efektivitas Penyerapan Logam Berat Nikel (Ni) oleh Biofilm 26
3.7 Prosedur Pengukuran Kualitas Air 26
3.7.1 Suhu 26
3.7.2 Derajat Keasaman (pH/*Poisoning of Hydrogen*) 27
3.8 Analisis Data 27

4. HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian 29
4.1.1 Sejarah Waduk Lahor 29
4.1.2 Letak Geografis Waduk Lahor 30
4.1.3 Lokasi Pengambilan Sampel 30
4.2 Hasil Penelitian Kinetik Adsorpsi 31
4.3 Hasil Penelitian Adsorpsi Isoterm 36
4.4 Karakteristik dan Aplikasi Bisorpsidengan Menggunakan Biofilm 41

5. KESIMPULAN DAN SARAN 46
5.1 Kesimpulan 46
5.2 Saran 46

DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN 52

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Bagan Perumusan Masalah 3
2. Grafik Nilai Konsentrasi Logam Ni 32
3. Akumulasi Penyerapan Logam Ni 33
4. Grafik Batang Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsentrasi Keseimbangan 37
5. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Akumulasi Ni 38
6. Kurva Distribusi Akumulasi Ni 39
7. Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir 40

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Hasil Penentuan Kinetik Adsorpsi 31
2. Hasil Penentuan Adsorpsi Isoterm..... 36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Alat dan Bahan 53
2. Lokasi Penelitian 54
3. Analisis Perhitungan Regresi 55
4. Perhitungan Kinetik Adsorpsi dan Adsorpsi Isoterm 58
5. Foto Kegiatan Penelitian 61

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontaminasi bahan pencemar yang berasal dari aktivitas industri modern telah menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air yang signifikan pada badan air seperti sungai, danau dan waduk. Walaupun saat ini telah diberlakukan berbagai macam kebijakan dan peraturan terkait dengan pengendalian pencemaran air, diantaranya: PP No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dan Permen LH No.13 Tahun 2010 tentang upaya pemantauan lingkungan hidup dan upaya pengelolaan lingkungan hidup dan surat pernyataan kesanggupan pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup, namun lemahnya praktek pengawasan dan penegakan hukum menyebabkan penurunan kualitas air di badan air terus berlangsung (Priadie, 2012). Pencemaran air dapat didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukannya makhluk hidup, zat energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukkannya (Said dan Firly, 2005). Penurunan kualitas lingkungan perairan akibat bahan cemaran, seperti logam berat dapat berpengaruh pada biota perairan yang ada di dalamnya hingga berdampak pada kehidupan manusia yang ketergantungannya terhadap lingkungan perairan sangat besar. Jika kondisi ini dibiarkan, kedepan akan memperburuk kondisi linkungan dan membahayakan kesehatan manusia akibat meningkatnya status pencemaran dan akumulasi logam berat pada biota perairan (Makkasau *et al*., 2011).

Menurut Yudo (2006), pencemaran logam berat seperti Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Nikel (Ni) dan Raksa (Hg) dapat sangat berbahaya untuk manusia.

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat essensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Meningkatnya kebutuhan hidup pada produk teknologi yang mengandung logam berat memicu bertambahnya beban lingkungan. Nikel merupakan contoh logam yang banyak digunakan dalam teknologi modern. Nikel (Ni) dihasilkan sebagai buangan industri penyepuhan, elektronik dan pembersihan logam. Keberadaan ion logam ini di atas nilai kritis dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan baik kronis maupun akut seperti beberapa kerusakan paru-paru dan ginjal, gastrointestinal distress, fibrosis pulmoneri dan edema renal serta dermatitis kulit (Taba *et al.,* 2009).

Kegiatan penambangan nikel menyebabkan kontaminasi logam berat di perairan pantai, dan pada kadar yang tinggi dapat menimbulkan pencemaran, yang akan menimbulkan dampak negatif terhadap biota perairan (Ahmad, 2013). Sedangkan Ahmad (2009) melaporkan bahwa, untuk kepentingan biota perairan, seperti halnya logam berat yang lain, Ni juga bersifat racun terhadap organisme perairan. Pada kadar 1200 ppb (1,2 ppm) logam Ni dapat mematikan 50% embrio dan larva kerang *C. virginica* (LC50, 24 jam), dan pada kadar 1300 ppb (1,3 ppm) dan 5,7 dapat mematikan 50% embrio dan larva kerang.

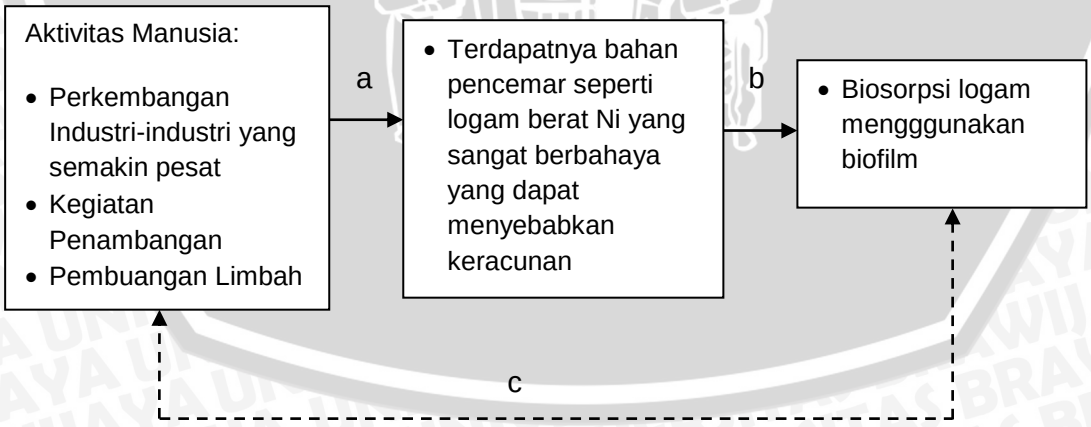
Salah satu upaya untuk menurunkan polutan adalah dengan melakukan pengolahan secara biologis melalui pemanfaatan biofilter dengan memanfaatkan mikroorganisme yang melekat pada suatu media untuk mendegradasi polutan (Mardiana *et al*., 2014). Akhir-akhir ini telah dikembangkan suatu metode alternatif pengolahan limbah industri yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan yaitu proses pengolahan limbah dengan menggunakan makhluk hidup (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). Biosorpsi merupakan salah satu pengolahan limbah cair secara biologis, proses kerjanya bisa dengan memanfaatkan kehidupan mikroorganisme untuk menguraikan polutan. Proses penguraiannya dapat berlangsung secara aerob dan anaerob atau kombinasi aerob atau anaerob (Ifadah dan Sugito, 2012).

Biofilm adalah komunitas mikroba yang melekat pada substrat padat di bawah permukaan air. Mereka dapat ditemukan hampir di mana saja di alam, dan mereka menarik secara komersial untuk beberapa alasan (Wolf, 2005). Dewasa ini perhatian terhadap pemanfaatan biofilm untuk bebagai keperluan sudah semakin meningkat, seperti dalam pengolahan air limbah, bioremediasi, akuakultur, hingga produksi biohidrogen (Nofdianto, 2010).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan dalam bentuk bagan yaitu sebagai berikut (Gambar 1):



Gambar 1. Bagan Perumusan Masalah

Keterangan:

⟶ : Berpengaruh langsung

- - - -▸ : Umpan balik

Penjelasan mengenai bagan perumusan masalah diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Perkembangan industri yang semakin pesat serta kegitan penambangan dapat memberikan dampak yang positif dan negatif terhadap manusia. Demikian juga pembuangan limbah dari industri-industri tersebut dapat menyebabkan adanya bahan pencemar seperti logam berat Ni yang sangat berbahaya yang dapat menyebabkan keracunan.
b. Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan sebuah upaya untuk mengurangi kandungan konsentrasi logam berat Ni didalam lingkungan perairan dengan menggunakan metode biosorpsi.
c. Metode biosorpsi dengan menggunakan biofilm ini dapat menjadi salah satu cara untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam menurunkan kadar logam berat Ni di perairan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui waktu optimum yang dibutuhkan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat nikel.
2. Untuk mengetahui kemampuan biofilm dalam mengadsorpsi logam berat berdasarkan variasi konsentrasi
3. Untuk mempelajari karakteristik adsorpsi logam berat nikel oleh biofilm.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari kegiatan penelitian ini diantaranya adalah:

1. Mahasiswa

   Dengan mempelajari secara langsung dapat menambah pengetahuan ataupun wawasan yang lebih tentang penyerapan logam berat nikel dengan menggunakan biofilm.

2. Terkait Instansi

   Dapat dijadikan sebagai sumber informasi keilmuan mengenai pengolahan limbah nikel dengan menggunakan biofilm.

3. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan

   Dapat dijadikan sebagai sumber informasi keilmuan mengenai pentingnya pengolahan limbah logam berat nikel untuk meminimalisir terjadinya pencemaran di perairan guna meningkatkan pengelolaan sumberdaya perairan secara berkelanjutan dan untuk penulisan serta penelitian lebih lanjut lagi.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

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

1.6 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di laboratorium Bioteknologi dan Lingkungan Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dan Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2015.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran

Menurut Sastrawijaya (2000), pencemaran lingkungan adalah perubahan lingkungan yang tidak menguntungkan, sebagian karena tindakan manusia, disebabkan perubahan pola penggunaan energi dan materi, tingkatan radiasi, bahan-bahan fisika dan kimia, dan jumlah organisme. Perubahan ini dapat mempengaruhi langsung manusia, atau tidak langsung melalui air, hasil pertanian, peternakan, benda-benda, perilaku dalam apresiasi dan rekreasi di alam bebas. Sedangkan Darmono (2001), mengatakan bahwa salah satu dari contoh pencemaran adalah sampah. Sampah merupakan permasalahan lingkungan cukup serius yang masih dihadapi di Indonesia. Rata-rata satu orang per hari menghasilkan sampah 1-2 kg, dan akan terus meningkat sejalan dengan meningkatnya kesejahteraan dan gaya hidup masyarakat. Sumber sampah terbesar adalah pemukiman (rumah tangga), disusul pasar, pertokoan dan industri. Bahan organik pada sampah yang mengendap akan mengalami dekomposisi menghasilkan *leachate* (air lindi). Dimana air lindi ini mengandung zat terlarut dan tersuspensi yang sangat halus sebagai hasil penguraian oleh mikroba. Air lindi mengandung bahan organik berkadar tinggi serta bisa mengandung logam berat.

Menurut Makkasau (2011), menyatakan bahwa lingkungan perairan di Indonesia disinyalir pada wilayah tertentu telah banyak terkontaminasi oleh berbagai bahan cemaran seperti bahan organik berupa: pestisida, deterjen, minyak, dan bahan anorganik berupa: logam berat dan asam yang bersumber dari limbah domestik, industri, perbengkelan, dan bencana alam. Sedangkan Hutagalung (1984) mengatakan, senyawa logam berat banyak digunakan untuk kegiatan industri sebagai bahan baku, katalisator, biosida maupun sebagai

additive. Limbah yang mengandung logam berat akan terbawa oleh sungai dan karenanya limbah industri merupakan sumber pencemar logam berat yang potensial bagi pencemaran air.

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 *efluent*-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 umumnya dibayangkan sebagai bahan yang ‘keras’, mempunyai densitas dan titik leleh tinggi, dapat ditempa, dan merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Bentuk kelimpahan logam yang terdapat di alam (kerak bumi) sangat bergantung terutama pada reaktivitas logam yang bersangkutan, kelarutan garamnya, dan kemudahan garamnya bereaksi dengan air atau terhadap proses oksidasi (Sugiyarto dan Suyanti, 2010). Banyak jenis logam yang digunakan secara meluas, hanya terdiri dari satu fasa. Termasuk logam murni komersial dengan satu komponen. Sebagai contoh dapat dikemukakan kawat listrik tembaga, seng untuk pelapis lembaran baja, dan alumunium untuk alat-alat rumah tangga. Meskipun demikian, seringkali ditambahkan komponen kedua secara sengaja, untuk memperbaiki sifat-sifat. Kombinasi semacam ini

disebut *paduan*. Paduan adalah logam fasa tunggal bila batas solubilitas tidak dilampaui. Kuningan, (paduan fasa tunggal dari tembaga dan seng), perunggu (paduan fasa tunggal dari tembaga dan timah putih) (Vlack, 1992).

Menurut Hutagalung *et al*., (1997), logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul yang tinggi, mempunyai daya hantar panas listrik yang tinggi dan memiliki densitas >5 gr/cm^3. Didalam susunan berkala unsur-unsur (sistem periodik) logam berat memiliki nomor atom 22 hingga 93 pada periode 3 sampai dengan periode 7. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk kedalam tubuh organisme hidup (Palar, 2012).

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 pahan dengan kandungan logam berat tinggi dianggap tidak layak konsumsi. Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur essensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa di antaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun (Ridhowati, 2013). Sedangkan Yudo (2006) mengatakan, berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat essensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak essensial atau beracun, dimana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun.

2.3 Logam Berat Nikel (Ni)

Menurut Sabilu (2010), nikel merupakan salah satu jenis logam berat dan memiliki sifat toksik. Pada konsentrasi toksik, nikel dapat meracuni darah, mengganggu sistem pernapasan, merusak jaringan, selaput lendir, dan mengubah sistem sel dan kromosom. Oleh karena itu sejak tahun 2006, masyarakat Uni Eropa telah mengusulkan ke WTO untuk menetapkan nikel sebagai *dangerous subtances.* Sementara itu, pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri berkaitan dengan sifat toksik yang dimiliki oleh logam berat nikel, telah menetapkan baku mutu konsentrasi nikel di perairan pada kawasan industri pertambangan nikel adalah sebesar 0,5 ppm.

Nikel tahan terhadap udara dan tahan terhadap pengokdasian sehingga nikel dapat digunakan untuk melapisi besi, tembaga dan sebagainya. Logam nikel banyak ditemukan dalam lingkungan karena banyak industri-industri yang tidak memperhatikan keselamatan lingkungan. Sumber utama kontaminan logam nikel berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasikan logam nikel pada semua bagian tanaman. (Wiyarsih dan Priambodo, 2011). Amien dan Iromo (2010) mengatakan bahwa, (Ni) di perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid. Garam-garam nikel seperti nikel amonium sulfat, nikel nitrat, dan nikel klorida bersifat larut dalam air. Nikel banyak digunakan dalam industri metalurgi, pelapisan logam, industri kimia, pembakaran minyak, dan pembakaran limbah.

Menurut Mardihasbullah *et al* (2013) menyatakan bahwa, nikel juga dapat berikatan dengan protein diseluruh jaringan ikan, termasuk darah yang jika selanjutnya dapat dikonsumsi manusia maka akan mengumpul dalam waktu yang lama akan bersifat sebagai racun yang akumulatif artinya tidak bisa diurai oleh organ tubuh sehingga akan membahayakan bagi kesehatan. Tingginya

kadar nikel dalam jaringan tubuh manusia bisa mengakibatkan munculnya berbagai efek samping yaitu akumulasi Ni pada kelenjar pituitari yang bisa mengakibatkan depresi sehingga mengurangi sekresi hormon prolaktin dibawah normal. Akumulasi Ni pada pankreas bisa menghambat sekresi hormon insulin (Widowati, 2008).

2.4 Biofilm

Biofilm adalah komunitas mikroba yang melekat pada substrat padat di bawah permukaan air. Mereka dapat ditemukan hampir di mana saja di alam, dan mereka menarik secara komersial untuk beberapa alasan (Wolf, 2005). Dewasa ini perhatian terhadap pemanfaatan biofilm untuk bebagai keperluan sudah semakin meningkat, seperti dalam pengolahan air limbah, bioremediasi, akuakultur, hingga produksi biohidrogen (Nofdianto, 2010).

Menurut Husin (2008) menyatakan bahwa, biofilm pada dasarnya adalah sekumpulan agregat mikroorganisme atau produk polimer ekstrasellular yang melekat pada permukaan padatan dalam lingkungan berair atau tergantung dengan antarmuka. Populasi bakteri pada lingkungan berair paling banyak dijumpai dalam keadaan agregat yang dapat membentuk biofilm dari pada keadaan planktonik (bebas). Bakteri dalam keadaan planktonik bertindak sebagai suatu individu, sehingga tidak mampu bersaing untuk mendapatkan ruang, oksigen dan faktor lainnya. Hal ini menyebabkan bakteri dalam keadaan planktonik mempunyai tingkat kepadatan yang rendah. Dalam keadaan agregat dan molekul bakteri mampu memperoleh nutrisi lebih banyak. Sedangkan Rittman dan McCarty (1980) mengatakan bahwa, biofilm adalah mikroorganisme yang melekat pada permukaan padat yang membentuk seperti lapisan. Biofilm dapat ditemukan di dasar sungai, air tanah, bentos, air pipa, dermaga, lambung

kapal dan tanaman air serta hewan air. Pada sistem air yang alami yang memiliki luas permukaan tinggi dan konsentrasi yang rendah.

Umumnya *matrix* biofilm tersusun atas 97% kandungan air, 2-5% komponen sel mikroba, 1-2% polisakarida, protein (< 1-2%), DNA dan RNA (1-2%) dan beberapa jumlah ion yang tidak diketahui juga merupakan bagian dari *matrix* biofilm (Zubair *et al.,* 2014). Andersson (2009), juga mengatakan bahwa *matrix* biofilm umumnya mengandung air mencapai 97%, 2-5% sel mikroba, 3-6% EPS dan ion. Asahi *et al*., (2015) juga mengatakan demikian bahwa 90 persen masa berat kering dari biofilm adalah komposisi EPS dan komponen utama dari *matrix* biofilm adalah air (memcapai 97%).

Para Ilmuwan Kanada sejak pertengahan 1984, melakukan studi kelayakan untuk mencoba pemanfaatan proses biologis untuk menghadapi peningkatan kandungan logam berat dalam lumpur hasil pengolahan limbah dengan melakukan percobaan untuk menguraikan atau memecah logam dari unsur mineral yang tak terlarut dengan memanfaatkan proses metabolisme mikroorganisme berupa bakteri atau dengan memanfaatkan produk dari metabolisme itu (Sastrawijaya, 2000). Sudarno (2012) juga mengatakan bahwa, penyisihan polutan secara biologi selama pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan pertumbuhan tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Bagi proses biologi yang dilakukan oleh bakteri dengan laju pertumbuhan yang lambat seperti bakteri nitrifikasi, pertumbuhan melekat pada material pendukung dapat membentuk biofilm yang cukup banyak untuk dapat menyisihkan polutan

2.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Biofilm dalam Pengolahan Limbah

Menurut Sudarno (2012), kelebihan pertumbuhan melekat dan pembentukan biofilm bagi pengolahan air limbah dapat dirangkum sebagai berikut:

- Kepadatan populasi bakteri yang tinggi dapat dipertahankan, karena bakteri menempel pada material dan tidak ikut melimpas ke *effluen*.
- Peningkatan kinerja sistem dapat dicapai karena konsentrasi biomass yang tinggi.
- Resisten terhadap *shock loading* dan *recovery* yang lebih bagus sebagai hasil dari fungsi proteksi dari *extra polymeric substance* (EPS) yang menempel pada biofilm.
- Pengembalian lumpur aktif untuk meningkatkan aktifitas bakteri pada sistem reaktor pertumbuhan tersuspensi tidak dibutuhkan dalam rekator biofilm, sehingga dapat mengurangi biaya pengoperasian.

Sedangkan kerugian dari pertumbuhan melekat diantaranya adalah:

- Terhambatnya transfer massa, contohnya adalah transfer oksigen atau substrat melalui lapisan EPS dapat menghambat pertumbuhan mikrobiologi di dasar biofilm.
- Resiko dari penyumbatan ketika reaktor tidak didesain dan dioperasikan secara baik.
- Sulitnya evaluasi kinetika proses karena interaksi yang komplek antara biofilm dan cairan.
- Tidak seragamnya distribusi substrat dan populasi biomass karena sulitnya sistem pengadukan.
- Perkembangan mikroorganisme yang menempel pada substratum dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi pori-pori dan karakteristik permukaan substratum.

Menurut Said (2002), menyatakan bahwa pengolahan air limbah dengan proses biofim mempunyai beberapa keunggulan antara lain:

- Pengoperasiannya mudah

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm, tanpa dilakukan sirkulasi lumpur, tidak terjadi masalah “bulking” seperti pada proses lumpur aktif (*activated sludge process*). Oleh karena itu pengelolaaanya sangat mudah.

- Lumpur yang dihasilkan sedikit dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan pada proses biofilm relatif lebih kecil.

  Di dalam proses lumpur aktif antara 30-60% dari BOD yang dihilangkan (removal BOD) diubah menjadi lumpur aktif (biomasa) sedangkan pada proses biofilm hanya sekitar 10-30 %. Hal ini disebabkan karena pada proses biofilm rantai makanan lebih panjang dan melibatkan aktifitas mikroorganisme dengan orde yang lebih tinggi dibandingkan pada proses lumpur aktif.

- Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

  Oleh karena di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm mikroorganisme atau mikroba melekat pada permukaan medium penyangga maka pengontrolan terhadap mikroorganisme atau mikroba lebih mudah. Proses biofilm tersebut cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

- Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi.

  Di dalam proses biofilter mikroorganisme melekat pada permukaan unggun media, akibatnya konsentrasi biomasa mikroorganisme per satuan volume relatif besar sehingga relatif tahan terhadap fluktuasi beban organik maupun fluktuasi beban hidrolik.

- Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil.

Jika suhu air limbah turun maka aktifitas mikroorganisme juga berkurang, tetapi oleh karena di dalam proses biofilm substrat maupun enzim dapat terdifusi sampai ke bagian dalam lapisan biofilm dan juga lapisan biofilm bertambah tebal maka pengaruh penurunan suhu (suhu rendah) tidak begitu besar.

2.5 Biosorpsi

Menurut Suhendrayatna (2001) *dalam* Chasanah (2007), biosorpsi secara umum dapat didefinisikan sebagai proses pengakumulasian logam berat dengan menggunakan makhluk hidup seperti mikroorganisme. Proses biosorpsi logam berat terjadi ketika ion logam berat diikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda yaitu pertukaran ion dan pembentukan kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus-gugus fungsional seperti karbonil (-C-C-), amino (-NH2), thiol (-SH), hidroksi (-OH), fosfat ($PO4^{-}$) dan hidroksi karbonil (-CH). Proses pertukaran ion terjadi ketika ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Jenie dan Rahayu (1993) juga mengatakan bahwa, mikroorganisme mempunyai peran penting dalam sejumlah proses penanganan limbah. Hal utama dalam pengolahan limbah cair adalah pengembangan dan pemeliharaan kultur mikroorganisme yang cocok. Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme terpenting dalam penanganan limbah cair.

Menurut Moertinah (2010), filter anaerobik merupakan suatu kemajuan yang penting didalam pengolahan air buangan karena filter dapat menangkap dan memelihara mikroorganisme dengan konsentrasi yang tinggi. Prinsip operasi dari suatu *fixed bed reactor* adalah aliran limbah dapat menuju keatas (*up ward*) ataupun kebawah (*down ward*) melalui suatu kolom yang terisi media pendukung. Permukaan media tersebut berfungsi untuk menempel mikroba dan

untuk menangkap flok yang tidak dapat menempel. Mikroba yang menempel tersebut yang bertanggung jawab dalam stabilisasi limbah. Berbagai macam tipe, bentuk dan ukuran media pendukung yang telah banyak digunakan seperti kwarsa, plastik, *clay*, *oyster*, *shells*, batu-batuan, polymer foam, *activated carbon* dan pasir. Sullivan (2004) *dalam* Wibowo (2005) menyatakan bahwa, Keefektivan proses pengolahan air limbah tergantung pada perubahan-perubahan biokimiawi yang dihasilkan oleh berbagai mikroorganisme khususnya bakteri, jadi semakin banyak bakteri yang terdapat dalam suatu sistem pengolahan limbah cair maka proses pendegradasian bahan-bahan yang terjadi juga akan semakin cepat.

Pada sistem pengolahan dengan biakan melekat (sering disebut biofilter), kultur mikroba dibiakkan pada suatu media, sehingga mikroorganisme yang terlibat melekat atau membentuk tipis (biofilm) pada permukaan media padat (MetCalf dan Eddy, 2003 *dalam* Husin, 2008). Keuntungan utama biosorpsi dibandingkan metode pengolahan limbah secara fisika dan kimia antara lain lebih murah, efisiensi tinggi, meminimalisir terjadinya endapan kimia dan biologi, tidak perlu nutrien tambahan, biosorben dapat diregenerasi dan memungkinkan kemampuan untuk pemulihan logam (Ahalya *et al*., 2004).

2.5.1 Kinetik Adsorpsi

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 (Cahyonugroho, 2007). Kinetik adsorpsi dikaji dengan menentukan tetapan laju adsorpsi yang didasarkan pada data pengaruh waktu terhadap jumlah logam yang teradsorpsi

oleh adsorben. Kurva hubungan yang terbentuk antara jumlah logam yang teradsorpsi oleh adsorben adalah kurva mendatar (Azmiyawati, 2006).

Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya (Widihati *et al*., 2012). Kinetika adsorpsi logam berat dapat berbeda-beda tergantung kepada logam berat yang akan di adsorpsi dan adsroben yang digunakan pada proses adsorpsi tersebut (Erdem *et al*., 2004). Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses kinetik adsorpsi. Adsorpsi ion dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontaknya semakin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih banyak. W aktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Khasanah, 2009).

2.5.2 Adsorpsi Isoterm

Isotermal adsorpsi yaitu hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan berat adsorben dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu atau tetap yang dinyatakan dengan kurva (Hasrianti, 2012). Isotermal adsorpsi menggambarkan konsentrasi yang bergantung pada kesetimbangan distribusi ion-ion logam antara larutan dan fase padat pada suhu tetap. Untuk mendapatkan data kesetimbangan, konsentrasi awal dibuat bervariasi sedangkan massa adsorben dalam tiap sampel tetap. Untuk menguji hubungan data antara adsorben dan konsentrasi larutan pada kesetimbangan digunakan model isotermal adsorpsi yaitu model isotermal Langmuir dan Freundlich (Nomanbhay dan Palanisamy. 2005).

Isotermal Langmuir mengasumsikan adsorpsi lapisan tunggal pada permukaan yang mengandung sejumlah tertentu pusat adsorpsi dengan energi-

energi adsorpsi yang seragam tanpa perpindahan adsorbat pada bidang permukaan (Hasrianti, 2012). Sriyanti *et al* (2005) juga mengatakan bahwa model adsorpsi isoterm langmuir mengasumsikan bahwa permukaan adsorben terdiri atas situs adsorpsi di mana semua adsorbat hanya teradsorpsi pada situs aktif dan tidak terjadi interaksi antar adsorbat, sehingga yang terbentuk adalah lapisan adsorpsi monomolekuler di mana jumlah molekul yang teradsorpsi tidak akan melebihi jumlah situs aktif.

2.6 Parameter Kualitas Air

2.6.1 Suhu

Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang selanjutnya mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Pada peningkatan suhu perairan sebesar 10^0C menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2-3 kali lipat (Effendie, 2003).

Limbah industri jika dibuang ke sungai tanpa diolah terlebih dahulu memiliki suhu yang relatif tinggi sehingga membahayakan kehidupan organisme perairan karena akan meningkatkan respirasi dan menyebabkan kadar oksigen di perairan tersebut sedikit. Suhu air dipengaruhi juga oleh pertukaran panas antara air, dengan udara, ketinggian topografi, masukan limbah industri, dan penutupan oleh tanaman (Barus, 2002).

2.6.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) dalam suatu perairan merupakan salah satu parameter kimia yang penting dalam memantau kestabilan perairan. Perubahan nilai pH suatu perairan terhadap organisme akuatik mempunyai batasan tertentu dengan nilai pH yang bervariasi (Simanjuntak, 2012).

Kondisi perairan yang bersifat sangat basa maupun sangat asam akan menyebabkan kelangsungan hidup suatu organisme terganggu. pH yang sangat rendah menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat (Barus, 2002). Perubahan pH yang disebabkan oleh aktifitas manusia antara lain adalah karena adanya masukan asam atau basa mineral dari sisa proses industri dan aliran dari penambangan (Mulyanto, 1992).

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah biofilm dan logam berat nikel untuk mempelajari kemampuan biofilm dalam menyerap bahan pencemar khususnya nikel. Dari materi 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 (2008), eksperimen adalah suatu tindakan coba-coba (*trial*) yang dirancang untuk menguji keabsahan (*validity*) dari hipotesis yang diajukan.

Metode eksperimen dilakukan dengan memberikan *treatment* (perlakuan) yang berbeda pada setiap grup sampel. Dengan adanya *treatment* yang berbeda, maka reaksi yang terjadi akan berbeda. Jad 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 antaa gejala. Eksperimen adalah tindakan pertama dalam cara empiris terhadap pengetahuan (Veronica, 2009).

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap meliputi pengumpulan sampel biofilm, penelitian kinetik adsorpsi dan adsorpsi isotherm serta pengukuran parameter utama dan parameter pendukung.

3.4.1 Penanaman Biofilm

Proses penanaman biofilm dilakukan di waduk Lahor dengan meletakkan batuyang memiliki ukuran sama pada kedalaman ± 40 cm yang bertujuan agar biofilm dapat tumbuh alami di waduk lahor. Batu dipilih karena merupakan bahan yang berasal dari alam yang bersifat hidrofil, yaitu mempunyai banyak pori-pori serta permukaannya yang kasar dapat mempercepat pembentukan biofilm. Sedangkan penggunaan kedalaman 40 cm bertujuan agar pembentukan lapisan biofilm tidak tergangggu dan tetap bisa memperoleh oksigen dari hasil fotosiintetis. Karena jika batu diletakkan pada kedalaman yang dangkal kemungkinan pembentukan lapisan biofilm akan terganggu oleh kecepatan datangnya air sedangkan jika kedalamannya terlalu dalam dikhawatirkan mikroorganisme pembentuk biofilm tidak bisa mendapat suplai oksigen sehingga mengakibatkan mikroorganisme mati. Switarto dan Sugito (2012) mengatakan bahwa pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh media dari permukaan adsorben. Media dengan permukaan yang kasar sangat efektif digunakan sebagai tempat menempelnya mikroorganisme. Astuti dan Sinaga (2015) mengatakan bahwa jika tingkatan air terlalu dangkal, lapisan biofilm dapat mudah terganggu karena rusak oleh kecepatan datangnya iar. Di sisi lain, jika tingkatan air terlalu dalam maka jumlahnya tidak cukup pada difusi oksigen pada biofim, sehingga mengakibatkan kematian dari mikroorganisme pada lapisan biofilm. Adapun prosedur penanaman biofilm dengan menggunakan batu adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan batu yang memiliki permukaan yang kasar dan ukurannya hampir sama.
2. Meletakkan batu didalam waduk Lahor sedalam ± 40 cm dibawah permukaan air.
3. Menunggu biofilm tumbuh terbentuk diatas permukaan selama ± 1 bulan.
4. Mengambil batu yang sudah ditumbuhi biofilm dengan menggunakan *coolbox.*

3.4.2 Pemisahan Sampel Biofilm dari Media Batu

Pemisahan sampel biofilm dari media batu menggunakan teknik *brushing* manual. Teknik *brushing* digunakan karena lebih mudah dan murah dalam pemisahan biofilm dari batu. Donlan dan Costerton (2002), mengatakan bahwa metode yang memungkinkan digunakan untuk mengumpulkan biofilm yan tertanam dalam media seperti batu, cangkang kerang, kayu dan lain-lain adalah metode *brushing* yang dapat memberikan keuntungan karena lebih mudah dalam pengaplikasiannya. Adapun prosedur pemisahan sampel biofilm dari media batu adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan batu yang sudah ditumbuhi biofilm, yang memiliki ukuran relatif sama.
2. Menimbang toples yang berisi aquadest sebanyak 40 ml.
3. Menyikat batu secara satu arah untuk melepaskan biofilm dari padatan dengan menggunakan sikat gigi berbulu halus didalam 40 ml aquadest.
4. Menghitung berat biofilm dari selisih berat toples dan aquadest sebelum dan sesudah biofilm dimasukkan.

3.4.3 Penelitian Kinetik Adsorpsi

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 (Cahyonugroho, 2007).

Penelitian kinetik adsorpsi dimaksudkan untuk menentukan tetapan laju adsorpsi yang didasarkan pada data pengaruh waktu terhadap jumlah logam berat nikel (Ni) yang teradsorpsi oleh biofilm. Dimana variasi waktu yang digunakan adalah 0, 5, 30, 60, 120, 300 menit dan konsentrasi logam nikel yang digunakan sebesar 15 mM dikarenakan konsentrasi yang tinggi dapat mempengaruhi jumlah akumulasi nikel didukung dengan lamanya waktu kontak. Pendugaan waktu kontak didasari karena pada mekanisme penyerapan passive uptake bersifat cepat sehingga diambil waktu kontak tercepat dan pada uji pendahuluan waktu 300 menit sudah cukup untuk mendapatkan waktu optimum. Seperti pada penelitian Earnestly (2010), melaporkan bahwa pada penelitian biosorpsi logam Pb(II), Cd(II), Ni(II) dan Cr(VI) dengann menggunakan kulit manggis waktu kontak yang digunakan adalah 0, 5, 30, 60, 90 dan 120 menit dimana didapatkan waktu optimumnya adalah 5 menit. Kurniawan dan Yamamoto (2012), juga melakukan variasi waktu kontak selama 300 menit pada penelitian kinetik adsorpsi dengan menggunakan logam lithium dan biofilm.

Kemudian dari hasil penelitian kinetik adsorpsi waktu optimum yang didapat nantinya akan digunakan pada penelitian adsorpsi isoterm sebagai waktu pengamatan. Penentuan waktu kontak sangat penting dalam proses adsopsi karena semakin lama waktu kontaknya semakin meningkat penyerapan logamnya. Hasrianti (2012) menyatakan bahwa, Penentuan waktu kontak dilakukan karena waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Adsorpsi ion dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontaknya semakin lama. Adapun prosedur dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan 2,5 gr biofilm dan aquadest 40 ml kedalam erlenmeyer yang berisi 300 ml aquadest.
2. Menghomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 700 rpm.
3. Mengambil 30 ml larutan untuk dianalisis kandungan logam berat nikelnya dan dijadikan sebagai t0.
4. Memasukkan logam berat nikel (Ni) 30 ml dengan konsentrasi 150 mM
5. Mengambil larutan sebanyak 30 ml untuk dianalisis pada waktu 5 menit. Dilakukan perlakuan yang sama pada menit ke- 30, 60, 120 dan 300.
6. Memasukkan ke dalam cuvet semua larutan yang diambil 30 ml pada menit ke- 5, 30, 60, 120, 300. Setelah itu di *sentrifuge* selama 10 menit.
7. Mengambil *supernatan* dari masing-masing cuvet untuk dianalisis kandungan logam berat nikelnya.

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

3.4.4 Penelitian Adsorpsi Isotherm

Penelitian adsorpsi isotherm dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum biofilm dalam mengadsorpsi logam Ni berdasarkan variasi konsentrasi yang berbeda pada temperatur kamar. Waktu yang digunakan mengikuti waktu optimum yang didapat dari penelitian kinetik adsorpsi. Variasi konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 0, 15, 19, 36, 72, 136 dan 264 mM. Penggunaan variasi konsentrasi tersebut karena untuk mendapatkan jumlah akumulasi diatas nilai baku mutu logam nikel yang ditetapkan oleh pemerintah selain itu konsentrasi dalam larutan berpengaruh untuk pengikatan ion logam secara spesifik sehingga dapat diketahui kapasitas adsorpsinya. Seperti yang dilakukan pada penelitian Hasrianti (2012) melaporkan bahwa

konsentrasi dalam larutan berpengaruh pada pengambilan spesifik ion logam dan dengan adanya variasi konsentrasi maka dapat ditentukan kapasitas adsorpsi dengan menggunakan isotermal adsorpsi. Erdem (2004) melaporkan pada penelitian biosorpsi kation logam kadmium dengan menggunakan zeolit alam menggunakan variasi konsentrasi 100-400 mM. Sedangkan Kundari dan Wiyuniati (2008) melaporkan pada penelitiannya dimana melakukan penelitian adsorpsi logam tembaga oleh zeolit menggunakan variasi konsentrasi 10-5000 ppm.

Adsorpsi isoterm biasanya digambarkan dalam bentuk kurva berupa plot distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase cair. Selanjutnya pada penelitian adsorpsi isoterm akan didukung dengan menggunakan model adsorpsi isoterm *Langumuir*. Model isoterm adsorpsi *langmuir* mengasumsikan bahwa permukaan adsorben terdiri atas situs adsorpsi di mana semua adsorbat hanya teradsorpsi pada situs aktif dan tidak terjadi interaksi antar adsorbat, sehingga yang terbentuk adalah lapisan adsorpsi monolayer di mana jumlah molekul yang teradsorpsi tidak akan melebihi jumlah situs aktif (Sriyanti *et al*., 2005).

Adapun prosedur dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan biofilm 2,4 gr kedalam erlenmeyer yang berisi 120 ml aquadest.
2. Menghomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 700 rpm selama 5 menit.
3. Mengambil 20 ml larutan untuk dianalisis kandungan logam berat Ni dan dijadikan sebagai t0.
4. Memasukkan logam berat nikel (Ni) 20 ml dengan konsentrasi 15 mM
5. Mengambil larutan didalam sistem sebanyak 20 ml untuk dianalisis, kemudian dimasukkan lagi bahan pencemar sebanyak 20 ml dengan

konsentrasi 19 mM. Selanjutnya dilakukan perlakuan yang sama dengan menggunakan konsentrasi konsentrasi 36 mM, 72 mM, 136 mM, dan 264 mM.

6. Memasukkan ke dalam cuvet semua larutan yang diambil 20 ml pada konsentrasi 15 mM, 19 mM, 36 mM, 72 mM, 136 mM, dan 264 mM. Setelah itu di *sentrifuge* selama 10 menit.
7. Mengambil *supernatan* dari masing-masing cuvet untuk dianalisis kandungan logam berat nikelnya.

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

3.4.5 Pembuatan Larutan Logam Berat Nikel

Pembuatan larutan logam nikel ini menggunakan logam $NiCl_2$. Alasan menggunakan $NiCl_2$ karena memiliki sifat larut dalam air selain itu pada proses biosorpsi material logam sangat berperan penting. Yefridaa dan Yuniartis menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi adalah temperature, pH dan material adsorbat dimana jika suatu adsorbat tidak larut dalam air maka dapat mempengaruhi proses biosorpsi. Adapun prosedur pembuatan limbah logam menurut Apriliani (2010), adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan serbuk logam $NiCl_2$
2. Menimbang serbuk logam $NiCl_2$ sebanyak 12,48 gr
3. Mencampurkan serbuk logam kedalam 500 ml aquadest
4. Menghomogenkan larutan aquadest dan serbu logam dengan menggunakan spatula

3.5 Analisis Logam Berat Nikel (Ni)

Pengukuran logam berat kadmium dilakukan di Laboratorium Lingkungan Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Adapun prosedur pengukuran logam berat nikel (Ni) menurut Fernanda (2012), pengukuran logam berat nikel (Ni) pada sampel air adalah sebagai berikut:

1. Mengambil sampel air sebanyak 10 ml
2. Kemudian didestruksikan dengan penambahan 5 ml HNO_3
3. Kemudian di uapkan diatas pemanas listrik sampai larutannya jernih
4. Menempatkan filtrat contoh uji pada labu ukur 25 ml dan ditambahkan HNO_3 1N sampai tanda tera
5. Mengukur filtrat contoh uji ke dalam spektrofotometer serapan atom atau *Atonomic Absorption Spectrometry* (AAS).

3.6 Efektivitas Penyerapan Logam Berat Nikel (Ni) oleh Biofilm

Efektivitas penyerapan biofilm dalam menyerap logam berat nikel (Ni) dilakukan dengan menentukan kandungan logam berat Ni awal pada air limbah. Setelah itu dimasukkan ke dalam bak-bak percobaan selama 24 jam untuk mengetahui pengurangan logam berat nikel (Ni) pada air limbah. Efektivitas penyerapan logam berat nikel (Ni) dapat diukur dengan rumus sebagai berikut:

$$Efisiensi\ penyerapan\ (\%) = \frac{Kandungan\ Ni\ awal - Kandungan\ Ni\ akhir}{Kandungan\ Ni\ awal} \times 100$$

3.7 Prosedur Pengukuran Kualitas Air

3.7.1 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 termometer tersebut.

3.7.2 Derajat Keasaman (pH)

Prosedur pengukuran pH menurut Bloom (1998), adalah:

1. Mengkalibrasi pH meter terlebih dahulu dengan aquades
2. Mencelupkan pH meter kelam air media beberapa saat
3. Membaca angka yang tertera pada alat tersebut

3.8 Analisis Data

Melihat hubungan antara variabel (X dan Y) yang berbeda, maka dalam penelitian ini data yang diperoleh akan dilakukan pengujian menggunakan model regresi linier sederhana, data tersebut diambil dari nilai konsentrasi logam Ni didalam air dan jumlah logam Ni yang terakumulasi didalam biofilm. Menurut Suharjo (2013) rumus yang digunakan adalah:

$$Y = a + bx$$

Dimana:

Y = Akumulasi logam Ni per gram biofilm

a = Konstanta

b = Koefisisen regresi

x = Konsentrasi keseimbangan

Hipotesis dalam penelitian ini dibuktikan dengan melakukan:

H_o : p = 0.05

H_1 : p > 0.05

Untuk mengetahui apakah model sampel representatif terhadap model populasi maka diperlukan pengujian terhadap parameter-parameter regresi tersebut berdasarkan nilai-nilai statistiknya dengan cara uji serempak (menggunakan tabel analisis ragam (statistik uji F)) atau uji parsial dengan

statistik uji t.Perbandingan ini dilakukan dengan cara mencari selisih dari nilai $\bar{Y}$ (rata-rata) dengan nilai Y sebenarnya. Apabila nilai selisihnya negatif (-), maka akumulasi sebenarnya berada diatas rata-rata dan jika nilainya positif (+) nilai sebenarnya dibawah rata-rata.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

4.1.1 Sejarah Waduk Lahor

Bendungan Lahor dibangun tahun 1972, dan mulai beroperasi sejak November 1977 merupakan bagian dari Proyek pengembangan wilayah sungai Brantas yang dilaksanakan secara terpadu oleh Badan Proyek Brantas, atau lengkapnya Badan Pelaksana Induk Pengembangan Wilayah Sungai Brantas. Waduk Lahor ini dialiri oleh tiga buah sungai yaitu sungai Lahor, sungai Leso dan sungai Dewi. Waduk mempunyai luas 2,6 km^2 atau 260 Ha, terletak kurang lebih 1,5 km di sebelah utara proyek serbaguna Karangkates, dan kurang lebih 32 km di sebelah selatan kota Malang ke arah kota Blitar. Waduk ini menjadi salah satu *inlet* (daerah aliran masuk) dari waduk Sutami yang merupakan waduk terbesar di Jawa Timur (Apridayanti, 2008).

Bendungan Lahor merupakan bagian dari Proyek pengembangan wilayah sungai Brantas yang dilaksanakan secara terpadu oleh Badan Proyek Brantas atau lengkapnya Badan Pelaksana Induk Pengembangan Wilayah Sungai Brantas. Proyek ini mulai dilaksanakan pada tahun 1972 dan dapat berfungsi sejak bulan November 1977. Berdasarkan Keputusan Presiden No. 5/1990 maka mulai tanggal 1 April 1991 waduk Lahor dikelola oleh Perum Jasa Tirta (Dirjen Pengairan, 1983).

Perusahaan Umum Jasa Tirta (PJT) didirikan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 5 tahun 1990 tentang Perum Jasa Tirta, pada tanggal 12 Februari 1990. Berdasarkan PP. No. 93 Tahun 1999 nama Perum Jasa Tirta dirubah menjadi Perum Jasa Tirta I. Tujuan berdirinya PJT adalah mengelola sumberdaya air (SDA) secara profesional agar SDA dapat berfungsi secara optimal sesuai rencana dengan bertumpu pada partisipasi swasta dan

masyarakat sehingga secara bertahap mengurangi beban pemerintah (APBN/APBD). Bendungan Lahor dibangun dengan tujuan sebagai pengendalian banjir dan sedimen, sebagai penyediaan air untuk unit III PLTA Sutami 35.000 kWh (7.220.000 kWh/tahun), sebagai penyediaan air irigasi seluas 1.100 ha dan sebagai pariwisata serta perikanan darat.

4.1.2 Letak Geografis Waduk Lahor

Letak geografis waduk Lahor berdasarkan google earth (2015), yaitu terletak pada 8º09'27.82''S 112º26'47.24''E. Menurut Jasatirta (2015), waduk Lahor terletak sekitar 40 km barat daya Kota Malang yang secara administratif berada di Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang dan Kecamatan Selorejo Kabupaten Blitar. Karena letaknya yang bersebelahan dengan benduungan Karangkates serta memiliki ukuran yang lebih kecil, banyak juga yang menyebut bendungan Lahor sebagai 'anak' bendungan Karangkates. Batasan wilayah waduk Lahor antara lain sebagai berikut:

- Sebelah utara berbatasan dengan : Bendungan Karangkates
- Sebelah selatan berbatasan dengan : Bendungan Sutami
- Sebelah barat berbatasan dengan : Bendungan Serbaguna Wlingi
- Sebelah timur berbatasan dengan : Bendungan Sengguruh

4.1.3 Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah biofilm yang tumbuh pada media batu yang diambil di waduk Lahor Kabupaten Malang. Pengambilan batu dilakukan di daerah dekat aktifitas perikanan darat yaitu kegiatan budidaya karamba jaring apung dan kegiatan pemancingan (Lampiran 2). Alasan media batu diambil dekat aktifitas perikanan karena didaerah ini batu yang ditumbuhi biofilm lebih banyak dan lebih mudah dalam pengambilannya.

4.2 Hasil Penelitian Kinetik Adsorpsi

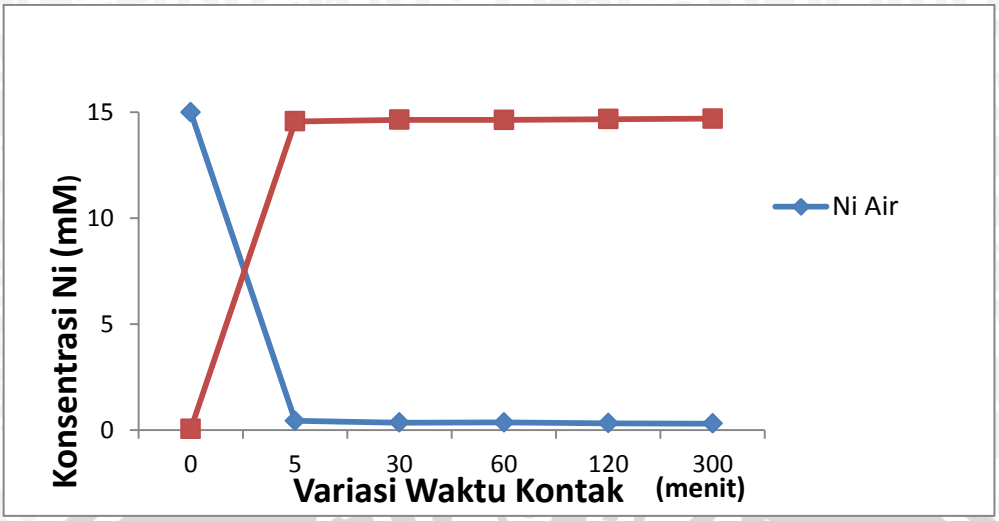
Pada penelitian ini kinetik adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu 5, 30, 60, 120, dan 300 menit dengan konsentrasi logam Ni sebesar 15 mM. Masing-masing percobaan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (triplo). Adapun hasil penentuan kinetik adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penentuan Kinetik Adsorpsi

No	Waktu (menit)	Konsentrasi Ni dalam Air (mM)	Konsentrasi Ni dalam Biofilm (mM)	Jumlah Penyerapan Ni (mmol/gr)	Efisiensi Penyerapan (%)
1	0	15	0.05	0.006	0
2	5	0.43	14.57	1.75	97.10%
3	30	0.35	14.65	1.76	97.64%
4	60	0.36	14.64	1.76	97.59%
5	120	0.32	14.68	1.76	97.84%
6	300	0.30	14.70	1.76	97.97%

(*Sumber*: Data penelitian pribadi).

Tabel 1. menunjukkan data kinetik adsorpsi logam Ni pada biofilm dengan variasi waktu 0-300 menit. Pada penelitian ini nilai konsentrasi Ni dalam air dari waktu 0-300 menit berbanding lurus dengan nilai konsentrasi Ni didalam biofilm dimana pada saat nilai konsentrasi Ni didalam air mengalami penurunan, maka nilai konsentrasi Ni didalam biofilm juga mengalami peningkatan. Ini membuktikan bahwa biofilm dapat menyerap logam Ni. Seperti yang dikatakan Munir (2006), bahwa biofilm yang melekat pada suatu substrat didalam perairan dapat menyerap ion logam dari dalam air seperti ion logam Cd, Cr, Cu, Hg, Ni dan Zn. Mikroba yang membentuk film dalam ekosistem perairan juga memiliki peranan yang penting dalam proses biosorpsi logam. Grafik nilai konsentrasi Ni didalam air dan biofilm dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:

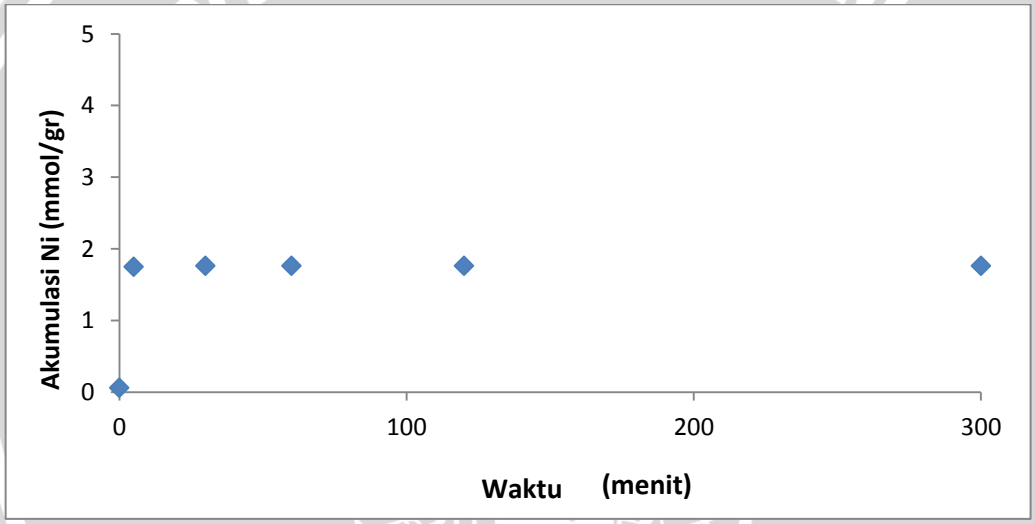


Gambar 2. Grafik Nilai Konsentrasi Logam Ni

Selanjutnya, jumlah penyerapan logam Ni dengan menggunakan biofilm menunjukkan bahwa jumlah logam Ni yang diserap oleh biofilm pada waktu ke-5-300 menit cenderung konstan. Jumlah akumulasi logam Ni dalam waktu 5 menit oleh biofilm nilainya sebesar 1.75 mmol/gr sedangkan pada waktu selanjutnya (30-300 menit) nilainya relatif sama (konstan) yaitu 1.76 mmol/gr. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan logam Ni oleh biofilm berlangsung dengan sangat cepat dimana akumulasi logam Ni yang terjadi dalam waktu 5 menit nilainya relatif sama dengan hasil diakhir penelitian yaitu pada waktu 300 menit. Hasil kurva mendatar yang dihasilkan dari data Tabel 1. (Gambar 3) menjelaskan bahwa sistem telah mencapai kesetimbangan sehingga biofilm sudah jenuh dalam menyerap ion logam Ni.

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Khasanah, 2009). Selanjutnya Erdem *et al*., (2004) mengatakan yaitu, secara umum semakin rendah konsentrasi logam awal maka semakin tinggi persentase adsorpsi logam. Pada konsentrasi tertentu akan mencapai persentase adsorpsi yang konstan karena adsorben sudah jenuh dengan ion logam yang diadsorpsi.

Susilawati (2009), juga mengatakan bahwa penyerapan ion logam akan semakin meningkat seiring meningkatnya waktu kontak kemudian terjadi penyerapan yang relatif konstan pada perpanjangan waktu kontak berikutnya. Bentuk kurva yang relatif mendatar memberikan informasi bahwa situs aktif permukaan biosorben telah jenuh dengan ion logam atau sistem telah mencapai keadaan kesetimbangan. Sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan ion logam. Adapun grafik hubungan akumulasi penyerapan logam Ni dengan biofilm terhadap waktu kontak dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Akumulasi Penyerapan Logam Ni

Waktu pengakumulasian yang didapatkan dalam penelitiaan ini yaitu pada menit ke-5 relatif sangat singkat. Hal ini sangat mungkin disebabkan karena adsorpsi yang terjadi pada logam Ni oleh biofilm merupakan adsorpsi fisika-kimia sehingga berlangsung sangat cepat. Seperti yang dikatakan oleh Castellans (1982) *dalam* Hasrianti (2012), pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi dapat berlangsung lambat dimana pada keadaan setimbang tidak teramati perubahan secara makroskopis. Waktu tercapainya keadaan setimbang pada proses adsorpsi adalah berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang

terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Secara umum, waktu tercapainya kesetimbangan adsorpsi melalui mekanisme seacara fisika-kimia lebih cepat dibandingkan dengan mekanisme melalui biologi.

Proses pengakumulasian logam Ni oleh biofilm pada penelitian ini diduga merupakan proses fisika kimia yang tidak melibatkan metabolisme atau biasa dikatakan proses *passive uptake* karena dalam proses ini terjadi pertukaran ion dimana ion logam Ni akan teradsorpsi oleh biofilm. Seperti yang dikatakan oleh Makkasau *et al.,* (2011), bahwa *Passive uptake* dikenal sebagai proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat diserap oleh bosorben dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion, dimana ion monovalen dan divalen pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsi. Chasanah (2007), juga mengatakan bahwa biofilm terutama terdiri dari sel mikroorganisme dan *Extrapolymeric Substances* (EPS) dengan EPS dapat mengandung 50-90% total karbon organik yang terdapat pada biofilm. EPS dapat berasosiasi dengan ion-ion logam, kation valensi dua dan makromolekul lain seperti protein, lipid, dll.

Berdasarkan penelitian kinetik adsorpsi didapatkan hasil bahwa biofilm mampu menyerap Ni dengan baik. Hal ini dibuktikan melalui data efektivitas penyerapan yang berkisar rata-rata ~97% (Tabel 1). Meningkatnya efektivitas penyerapan disebabkan karena proses penyerapan terjadi pada struktur biofilm yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan dengan muatan listrik ion logam Ni. Karena biofilm sebagai biosorben memiliki muatan listrik negatif sehingga akan berinteraksi dengan ion logam yang bermuatan listrik positif. Semakin kecil partikel adsorben maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga menyebabkan efektivitas penyerapannya tinggi. Hal ini juga didukung oleh pernyataan Hughes dan Poole (1984), bahwa proses adsorpsi berlangsung diatas pada permukaan struktur biosorben yang mempunyai situs-situs yang

bermuatan berlawanan dengan muatan ion logam sehingga terjadi interaksi pasif dan sangat cepat. Mahvi *et al.,* (2005), juga berpendapat bahwa partikel dari adsorben memiliki sisi aktif dengan muatan negatif yang akan berinteraksi ion logam yang bermuatan positif. Dengan memperkecil ukuran partikel dari adsorben, maka semakin luas sisi permukaan sehingga efisiensi penyerapan meningkat.

Adanya muatan ion negatif pada biofilm juga disebabkan karena adanya muatan listrik pada permukaan biofilm. Partikel tersuspensi disekitar biofilm diduga mempunyai kecenderungan bermuatan negatif yang dapat terikat pada polimer biofilm. Selain itu interaksi ionik yang terjadi pada proses ini dimana kation yang sudah terikat pada biofilm akan terlepas dan bertukar dengan kation logam. Gaya tarik menarik ini lebih kuat daripada gerakan tolak menolak karena adanya muatan listrik negatif dan muatan listrik positif. Seperti yang dikatakan Susilawati (2009), bahwa interaksi ionik yang terjadi antara kation logam dengan gugus anion makromolekul pada permukaan adsorben. Interaksi tersebut mirip dengan interaksi dalam resin pertukaran kation, kekuatan dan spesifikasinya tergantung pada jari-jari ion dan muatan logam dan persaingan dari muatan positif tertentu dalam polimer. Sedangkan Apriliani (2010), menyatakan bahwa ion logam yang diserap oleh adsorben saling berkaitan dengan kuat sehingga terjadi pembentukan kompleks antara ion logam dengan gugus fungsi pada permukaan dari adsorben yang bertindak sebagai ligan saat penyerapan berlangsung dan pembentukan kompleks tersebut relatif stabil. Pengikatan ini melibatkan interaksi elektrostatik antara gugus bermuatan negatif pada permukaan adsorben dan kation logam yang bermuatan positif.

4.3 Hasil Penelitian Adsorpsi Isotherm

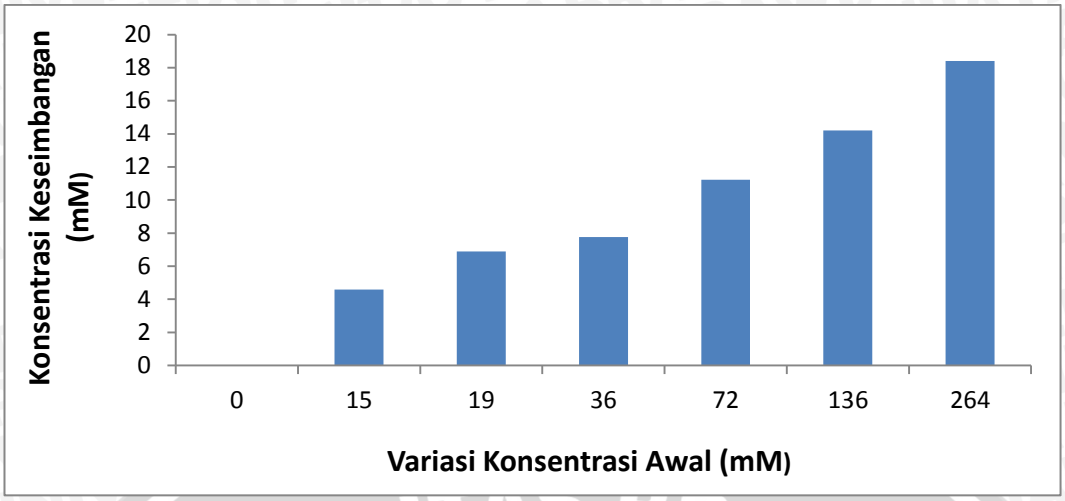
Berdasarkan penelitian adsorpsi isoterm, variasi konsentrasi yang digunakan adalah 15, 19, 36, 72, 136 dan 264 mM. Masing-masing percobaan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Selanjutnya hasil dari penentuan adsorpsi isotherm terhadap logam Ni dapat dilihat pada Tabel 2. dan Gambar 4. berikut ini:

Tabel 2. Hasil Penentuan Adsorpsi Isotherm

Konsentrasi Awal (mM)	Konsentrasi Keseimbangan (mM)	Jumlah Ni yang Terserap pada Biofilm (mmol/gr)
0	0	0
15	4.59	0.52
19	6.89	1.16
36	7.77	2.61
72	11.22	5.69
136	14.20	11.79
264	18.41	24.08

(*Sumber*: Data penelitian pribadi)

Tabel 2 menjelaskan bahwa pada konsentrasi awal 15 mM tercapai konsentrasi keseimbangan sebesar 4.59 mM dimana jumlah Ni yang terserap oleh biofilm sebesar 0.52 mmol/gr biofilm, pada konsentrasi awal 19 mM tercapai konsentrasi keseimbangan Ni sebesar 6.89 mM dan jumlah Ni yang terserap oleh biofilm sebesar 1.16 mmol/gr. Data selanjutnya menunjukkan bahwa pada konsentrasi awal 36-264 mM tercapai konsentrasi keseimbangan Ni dari 7.77-18.41 dimana jumlah Ni yang terserap oleh biofilm juga mengalami peningkatan. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi Ni dalam air, maka akan semakin meningkat nilai konsentrasi keseimbangan yang tercapai diikuti dengan meningkatnya jumlah Ni yang terserap per gram biofilm. Seperti yang digambarkan dalam bentuk grafik pengaruh konsentrasi awal terhadap konsentrasi keseimbangan berikut ini:

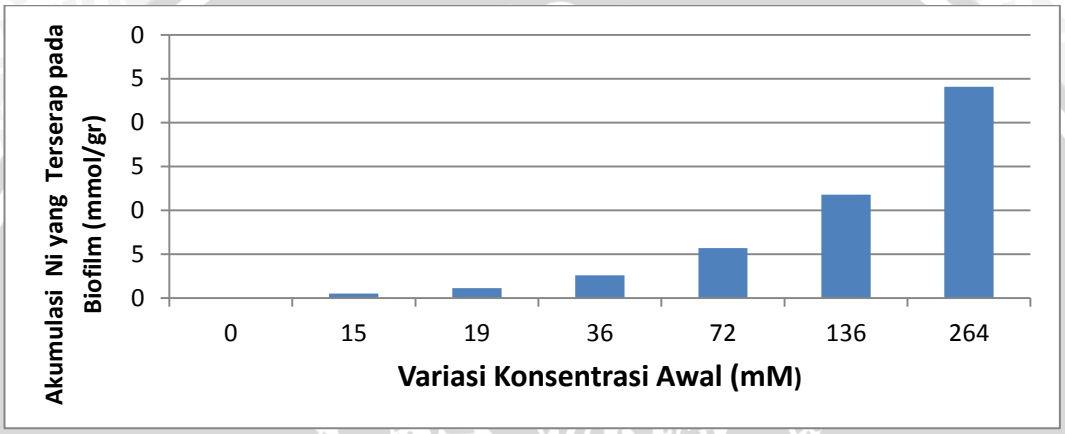


Gambar 4. Grafik Batang Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Konsetrasi Keseimbangan

Berdasarkan Gambar 4. serapan ion logam Ni akan terus meningkat secara linear hingga mencapai konsentrasi tertentu. Konsentrasi keseimbangan yang dapat dicapai pada penelitian ini adalah sebesar kurang lebih 18 mM. Nilai konsentrasi keseimbangan ini sudah jauh lebih tinggi dari standar baku mutu logam Ni di perairan untuk kawasan industri yang ditetapkan yaitu sebesar 0.5 ppm (0,01 mM). Berdasarkan PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013 mengenai baku mutu air limbah bagi kawasan industri, nilai batas ambang untuk logam nikel (Ni) adalah sebesar 0.5 mg/L (0.01 mM). Selain itu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 03 Tahun 2010 mengenai baku mutu air limbah bagi kawasan industri berkaitan dengan sifat toksik yang dimiliki oleh logam berat nikel, telah menetapkan baku mutu konsentrasi nikel di perairan pada kawasan industri pertambangan nikel adalah sebesar 0,5 ppm (0.01 mM).

Selanjutnya Gambar 5 menjelaskan pengaruh konsentrasi awal terhadap akumulasi Ni yang terserap pada biofilm menunjukkan bahwa pada konsentrasi awal 264 mM penyerapannya masih meningkat yaitu sebesar 24.08 mmol/gr. Nilai kapasitas adsorpsi tersebut cukup tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang sejenis. Seperti yang dilaporkan oleh Earnestly (2010), bahwa

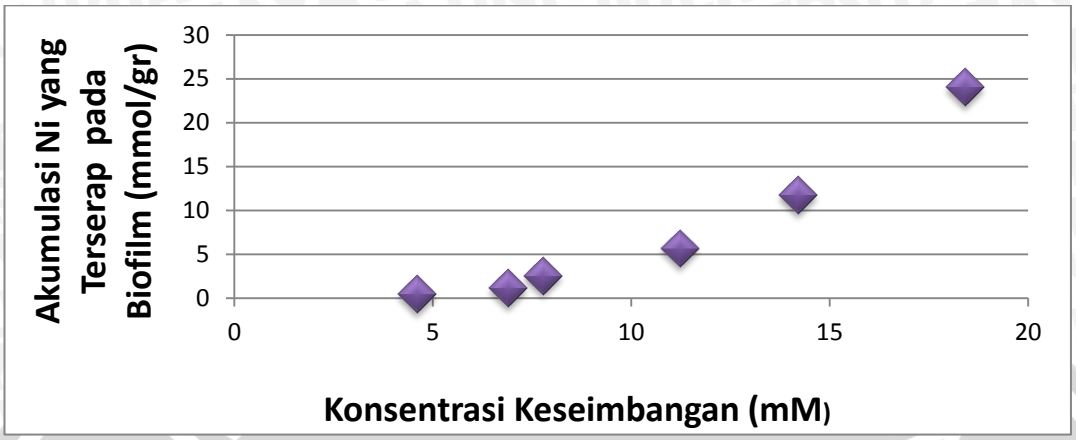
nilai kapasitas adsorpsi untuk ion logam nikel dengan menggunakan kulit manggis sebesar 0,0013 mmol/gr. Kemudian penelitian Wasono (2010), juga melaporkan bahwa nilai kapasitas adsorpsi untuk logam Ni dengan menggunakan zeolit alam sebesar 1,82 mmol/gr. Selanjutnya Munifah (2012), melaporkan bahwa nilai kapasitas adsorpsi logam Ni terbesar pada sistem dengan menggunakan zeolit A yang disintesis dari abu dasar yaitu sebesar 5,05 mmol/gr.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal Terhadap Akumulasi Ni

Kurva distribusi pengaruh konsentrasi keseimbangan terhadap jumlah akumulasi Ni yang terserap pada biofilm (Gambar 6) juga menjelaskan pada konsentrasi keseimbangan yang tercapai yaitu 18 mM, jumlah Ni yang terakumulasi pada biofilm sama dengan nilai pengaruh konsentrasi awal terhadap akumulasi Ni pada biofilm yaitu sebesar 24.08 mmol/gr. Hal ini membuktikan bahwa penanaman logam Ni ke dalam struktur biofilm berhasil. Seperti yang dikatakan oleh Pohan dan Tjiptahadi (1987), bahwa proses adsorpsi dapat dipengaruhi beberapa faktor, antara lain: konsentrasi adsorbat, temperatur, dan tegangan permukaan. Konsentrasi adsorbat yang semakin meningkat, menyebabkan terjadinya interaksi antara adsorben dengan adsorbat menjadi lebih besar. Hal tersebut memungkinkan proses adsorpsi berlangsung lebih baik. Raj Singh *et al*., (1974) *dalam* Syarief (2010), juga menyatakan bahwa

jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben meningkat secara linier dengan bertambahnya konsentrasi. Adapun kurva plot distribusi yang dapat digambarkan adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Kurva Distribusi Akumulasi Ni

Selanjutnya untuk melihat model adsorpsi logam Ni oleh biofilm, data-data yang didapat dalam penelitian ini dianalisa dengan menggunakan model adsorpsi isoterm *Langmuir.* Adapun persamaan rumusnya sebagai berikut ini:

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

Keterangan:

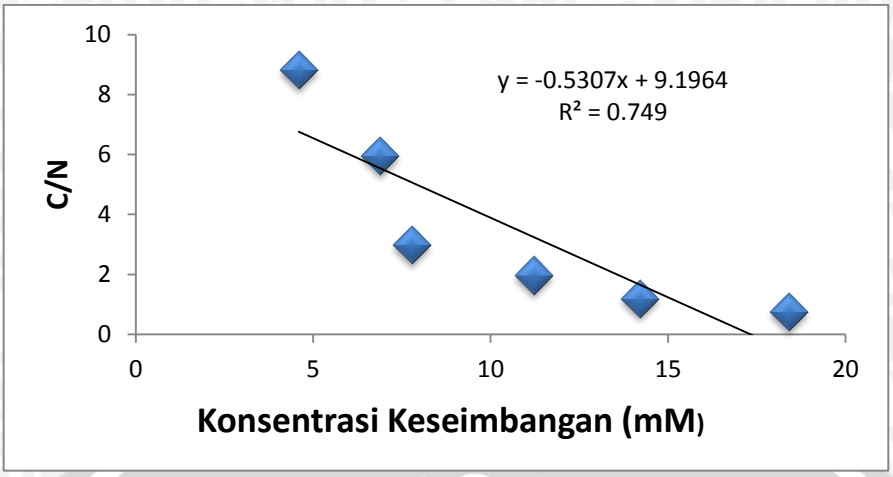
C = konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mM)

N = milimol logam yang terserap per gram biofilm

N_{max} = kapasitas adsorpsi maksimum (mmol/gr)

b = intensitas adsorpsi

Adapun kurva dari hasil perhitungan (Lampiran 4) dengan menggunakan model adsorpsi isoterm *Langmuir* dapat dilihat pada Gambar 7. sebagai berikut ini:



Gambar 7. Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir

Pembentukan plot C/N sebagai sumbu Y dan konsentrasi keseimbangan (C) sebagai sumbu X akan menghasilkan kurva linier dengan *slope* menunjukkan $1/N_{max}$ dan *intercept* sebagai $1/(N_{max})b$. Dari kurva ini maka model adsorpsi isoterm *langmuir* dapat diperkirakan (Kurniawan *et al*., 2012).

Berdasarkan Gambar 7 didapat persamaan liniear y = -0.5304x + 9.1881 dengan nilai R *square* (R^2) adalah sebesar 0,7492 yang berarti menjelaskan bahwa biofilm efektif sebagai biosorben logam Ni. Hal ini dibuktikkan dengan analisis perhitungan menggunakan aplikasi hitung SPSS V.2.0 metode regresi linear dimana berdasarkan tabel koefisien (Lampiran 3) diketahui bahwa nilai signifikansi parameter untuk beta nol adalah sebesar 0.007 dan nilai signifikansi untuk parameter X adalah sebesar 0.026. Kedua nilai tersebut kurang dari nilai alpha = 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa kedua koefisien dari parameter tersebut sudah signifikan secara statistik. Sehingga, kedua variabel tersebut masuk kedalam model. Model persamaan yang terbentuk adalah Y = 9.190 – 0.531X. Selanjutnya diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.87 yang artinya variabel X berkorelasi positif sebesar 0.87 terhadap Y. Sedangkan nilai R^2 sebesar 0.75 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan keragaman data sebesar 75% dimana 25% sisanya dijelaskan oleh variabel lain diluar model.

Selanjutnya hasil signifikansi berdasarkan ANOVA sebesar 0,026 dan nilai F hitung yang didapat sebesar 11.964 lebih besar dari F tabel sebesar 7.71 (Lampiran 3) yang menunjukkan bahwa terjadi signifikan karena nilai signifikansi < 0,05. Sehingga menjelaskan bahwa hubungan konsentrasi keseimbangan mempengarui jumlah kapasitas adsorpsi. Karena nilai signifikansi < 0,05 maka terjadi penolakan H_0 dan H_1 diterima dengan demikian dapat disimpulkan bahwa biofilm efektif dalam menyerap logam Ni. Hal ini juga membuktikkan bahwa penyerapan logam berat Ni oleh biofilm lebih mengacu pada model persamaan adsorpsi isoterm *Langmuir*. Seperti yang dikatakan oleh Kundari dan Wiyuniati (2008), bahwa jika nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 sehingga dapat dikatakan bahwa data-data yang diperoleh dari penelitian sesuai dengan model kesetimbangan adsorpsi *Langmuir*.

Bedasarkan kurva adsorpsi isoterm *Langmuir* didapatkan model adsorpsi logam Ni oleh biofilm yang terbentuk yaitu monolayer (satu lapsan). Pada proses ini penyerapan terjadi dengan membentuk monolayer dimana terjadi karena ikatan kimia yang biasanya lebih spesifik, sehingga biofilm mampu mengikat Ni dengan ikatan kimia antara Ni dengan permukaan biofilm. Seperti yang dikatakan Apriliani (2010), yaitu jika tipe isoterm yang dianut adalah isoterm *Langmuir*, maka adsorpsi berlangsung secara kimisorpsi monolayer. Adsorpsi monolayer terjadi karena ikatan kimia biasanya spesifik, sehingga adsorben mampu mengikat logam dengan ikatan kimia antara logam dengan permukaan adsorben.

4.4 Karakteristik dan Aplikasi Biosorpsi dengan Menggunakan Biofilm

Mekanisme adsorpsi terbagi menjadi 2 yaitu *passive uptake* dan *active uptake*. *Passive uptake* merupakan proses mekanisme adsorpsi yang tidak melibatkan metabolisme sedangkan *active uptake* merupakan proses mekanisme adsorpsi yang melibatkan metabolisme. Berdasarkan pada penelitian kinetik

adsorpsi dan adsorpsi isoterm proses biosorpsi menggunakan biofilm termasuk kedalam mekanisme *passive uptake* karena pada saat ikatan yang terjadi antara Ni dengan permukaan bofilm dapat terjadi fisisorpsi dan kimisorpsi serta tidak melibatkan metabolisme seperti *active uptake.* Seperti yang dikatakan oleh Susanti (2009), bahwa passive uptake (adsorpsi yang tidak bergantung metabolisme) terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya, melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan senyawa kompleks dan adsorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben yang terjadi pada biomassa mikroorganisme. *Passive uptake* sendiri dibagi menjadi 2 proses, yaitu proses ikatan elektrostatik dan proses pertukaran ion. Dalam proses biosorpsi logam berat Ni dengan menggunakan biofilm ini melibatkan kedua proses dari mekanisme *passive uptake* yang dijelaskan sebagai berikut ini.

Proses yang pertama yaitu proses ikatan elektrostatik dimana Ni yang memiliki ion positif akan terikat pada permukaan biofilm yang memiliki muatan listrik negatif. Adanya muatan listrik negatif pada biofilm akan mengikat ion logam Ni yang bersifat positif melalui gaya elektrostatik sehingga terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dengan muatan listrik negatif. Seperti yang dikatakan oleh Jasmidi (1998), bahwa muatan titik nol atau titik isoelektrik gugus fungsi protein penyusun dinding sel mikroorganisme terdapat pada pH 3. Ketika nilai pH lebih kecil dari 3 maka *binding site* bermuatan positif. Sedangkan pH lebih besar dari dari 3 maka *binding site* bermuatan negatif. Hal ini akan menyebabkan timbulnya daya tarik elektrostatik antara ion logam dengan *binding site* pada dinding sel yang bermuatan negatif.

Proses kedua yaitu proses pertukaran ion dimana pada proses ini ion yang terdapat pada biofilm yang sebelumnya terikat akan terlepas dan bertukar dengan ion logam Ni. Proses pertukaran ion ini berlangsung secara bolak-balik

dan cepat. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan penelitian waktu penyerapan logam Ni oleh biofilm yang tercapai berlangsung sangat cepat yaitu hanya 5 menit (Tabel 1, Gambar 3). Seperti yang dikatakan oleh Kristianingrum (2006) bahwa metode pertukaran ion berprinsip pada gaya elektrostatik dimana ion sebelumnya yang terdapat pada adsorben akan ditukar oleh ion logam yang terdapat dari limbah. Ridhowati (2013) juga berpendapat bahwa proses yang terjadi ketika ion logam berikatan pada permukaan biosorben melalui mekanisme pertukaran ion adalah ion yang terdapat pada permukaan biosorben yang sudah terikat sebelumnya akan digantikan oleh ion-ion logam berat secara bolak-balik dan cepat. Makkasau *et al* (2011), juga mengatakan bahwa saat ion logam berat tersebar pada permukaan biofilm, ion akan mengikat pada bagian permukaan biofilm berdasarkan kemampuan daya affinitas kimia yang dimilikinya.

Dalam penelitian ini juga mengukur suhu dan pH. Proses biosorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu dan pH. Namun untuk suhu pada proses biosorpsi logam Ni dengan menggunakan biofilm tidak terlalu berpengaruh. Karena nilai suhu yang didapat untuk tiga ulangan dengan rata-rata sebesar 32ºC (Lampiran 4). Nilai suhu yang diperoleh dapat dikategorikan sebagai suhu ruang sehingga tidak mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini juga dibuktikan dengan terjadinya penyerapan yang konstan (Gambar 3). Seperti yang dikatakan oleh Yefridaa dan Yuniartis (2010) dan Apriliani (2010), bahwa faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi adalah temperatur, pH dan konsentrasi biomateral larutan. Pada temperatur tidak akan mempengaruhi proses biosorpsi jika dalam keadaan temperatur ruang dalam range (20-35ºC) karena pada temperatur ruang tidak menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

Sedangkan untuk nilai pH yang didapat dalam penelitian ini untuk tiga ulangan dengan rata-rata yaitu sebesar 6,7 (Lampiran 4). Hal ini menunjukkan

nilai pH netral, sehingga menjelaskan bahwa tingginya pH dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Hal ini juga dibuktikan dengan meningkatnya kapasitas adsorpsi pada penelitian ini (Gambar 5). Hasrianti (2012) meneliti jumlah kapasitas adsorpsi pada variasi pH yaitu pada pH rendah yaitu pH 2,2 dan 4,1 adsorpsi ion logam rendah. Hal ini dikarenakan pada pH rendah permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H^+ (karena gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi). Dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif, yang akan menyebabkan terjadi tolakan antara permukaan. Hal ini juga didukung oleh pernyataan Adi dan Dyah (2010), bahwa jikan pH rendah akan terjadi kompetisi ion logam berat dengan ion hidrogen, sehingga ion logam berat akan terhambat untuk diserap oleh dinding biomassa. Sedangkan jika pH diatas 6,0 maka ion logam berat akan diserap maksimal oleh biomassa.

Dibandingkan dengan biofilm yang tumbuh pada media lainnya seperti pada pipa PVC dan tempurung kelapa, biofilm yang tumbuh pada media batu yang diteliti dalam penelitian ini memiliki kemampuan yang lebih efektif dalam menyerap logam dengan nilai persentase efisiensi sebesar 97.54% (Tabel 1). Sedangkan pada penelitian Chasanah (2007), melaporkan bahwa untuk biofilm yang tumbuh pada media pipa PVC hanya dapat menyerap logam Ni sebesar 41.37% dan untuk biofilm yang tumbuh pada tempurung kelapa hanya dapat menyerap logam Ni sebesar 60.58%. Hal ini bisa dikarenakan media pipa PVC dan tempurung kelapa memiliki permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan batu. Semakin halus permukaan medium maka akan semakin sedikit biofilm yang dapat tumbuh sehingga efisiensi penyerapan yang terjadi rendah.

Dengan efektifnya biofim dalam menyerap ion logam, biosorpsi dengan menggunakan biofilm ini dapat diterapkan sebagai biosorben dalam pengolahan air limbah pada suatu industri. Sebagai biosorben dalam *water treatment* biosorpsi menggunakan biofilm memiliki kelebihan diantaranya adalah murah dan

memiliki efisiensi penyerapan yang tinggi. Seperti yang dikatakan oleh Chasanah (2007), telah dikembangkan suatu metode alternatif pengolahan limbah industri yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan yaitu proses pengolahan limbah dengan menggunakan proses 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. Sudarno (2012), juga mengatakan bahwa penyisihan polutan secara biologi selama pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan pertumbuhan tersuspensi dan pertumbuhan melekat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan biofilm sebagai biosorben untuk ion logam Ni, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada proses kinetik adsorpsi jumlah logam Ni yang diserap oleh biofilm pada waktu 0-300 menit cenderung konstan. Waktu optimum yang didapat adalah 5 menit dan penyerapan berlangsung sangat cepat.
- Pada proses adsorpsi isoterm menunjukkan semakin meningkat konsentrasi logam Ni maka semakin meningkat pula jumlah Ni yang terserap per gram biofilm dan penanaman logam Ni ke dalam struktur permukaan biofilm berhasil. Konsentrasi awal 264 mM pada proses adsorpsi isoterm penyerapannya masih meningkat yaitu sebesar 24.08 mmol/gr. Konsentrasi keseimbangan yang diadpat pada proses ini sebesar 18 mM.
- Karakteristik biosorpsi dalam penelitian mengacu pada karakteristik *passive uptake* yang melibatkan dua mekanisme yaitu mekanisme ikatan elektrostatik dan mekanisme pertukaran ion sehingga biofilm mampu menyerap logam nikel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi bakteri dari mikroorganisme yang membentuk biofilm. Kemudian sebaiknya dilakukan penambahan konsentrasi agar dapat diketahui kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat di serap oleh biofilm dalam mengadsorpsi logam Ni.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, E.S dan N. Dyah. 2010. Pengurangan Konsentrasi Ion Pb dalam Limbah Air Elektroplanting dengan Proses Biosorpsi dan Pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*. **5**(1): 373-379.

Ahalya, N, T. V Ramachandra and R. D Kanamadi. 2004. Biosorption of Heavy Metals. India : Indian Institutes of Science.

Ahmad, F. 2009. Tingkat Pencemaran Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen Di Perairan Pulau Muna , Kabaena, dan Buton Sulawesi Tenggara. *Makara Sains.* **13**:(2).

_____. 2013. Dampak Aktivitas Perkotaan dan Penambangan Nikel Terhadap Tingkat Kontaminasi Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen. *Ilmu Kelautan*. **18**:(2).

Amien, M. H dan H. Iromo. 2010. Studi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Tembaga (Cu), dan Kadmium (Cd) Di Perairan Kota Tarakan Kalimantan Timur. *Media Sains*. **2**(1): 2085-3548.

Andersson, S. 2009. Characterization of Bacterial Biofilms for Wastewater Treatment. School of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Sweden.

Apridayanti, E. 2008. Evaluasi Pengelolaan Lingkungan Perairan Waduk Lahor Kabupaten Malang Jawa Timur. [Tesis]. Unoversitas Diponegoro Semarang.

Apriliani, A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. [*Skripsi*]. Universitas Islam Negeri Syarief Hidayatullah. Jakarta.

Asahi, Y., J. Miura, T. Tsuda, S. Kuwabata, K. Tsunashima, Y. Noiri, T. Sakata, S. Ebisu, dan M. Hayashi. 2015. Simple Observation of *Streptococcus mutans* Biofilm by Scanning Electron Microscopy Using Ionic Liquids.*AMB Express*. **5**:6.

Azmiyawati, C. 2006. Kajian Kinetika Adsorpsi Mg(Ii) Pada Silika Gel Termodifikasi Gugus Sulfonat. *JKSA*. **7**(1).

Barus, T. A. 2002. Pengantar Limnologi. Jurusan Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan.

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

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.

Darmono. 2001. Lingkungan Hiduo dan Pencemaran. UI-Press: Jakarta

Dirjen Pengairan. 1983. Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Brantas. Malang.

Donlan, R.M dan J.W. Costerton. 2002. Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms. *Clinical Microbiology*. **15**(2): 167-193.

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

Erdem, E., Karapinar, N., & Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*. 280: 309-314.

Earnestly, F. 2010. The Use of The Peel of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) as Biosorbent of Pb(II), Ni(II), Cd(II), dan Cr(VI) Ion. [*Skripsi*]. Andalas University.

Fernanda, L. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Dan Sifatt Fraksionasinya Pada Sedimen Laut. [*Skripsi*]. Universitas Indonesia. Depok.

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

Hasrianti. 2014. Adsorpsi Ion Cd^{2+} dan Cr^{6+} Pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong. [*Tesis*]. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Hughes, M.N dan R.K. Poole. 1984. Metals and Microorganism. Chapman and Hall: London.

Husin, A. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Biofiltrasi Anaerob dalam Reaktor *Fixed-Bed*. [*Tesis*]. Universitas Sumatera Utara. Medan

Hutagalung H. P. 1984. Logam Berat dalam Lingkungan Laut. Pewarta Oceana IX No.1 Tahun 1984.

_____., Setiapermana dan Riyono. 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan biota. LIPI. Jakarta.

Jastirta. (2015). Jasatirta Online. http://www.jasatirta1.co.id. Diakses pada tanggal 2 Juni 2015.

Jasmidi. (1998). Pengaruh pH Awal Larutan Terhadap Biosorpsi Timbal dan Seng oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Prosiding Semnas Kimia III*. Jur. Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta.

Jenie, B. S. L dan W. P. Rahayu. 1993. Penanganan Limbah Industri Pangan. Yogyakarta: Kanisius.

Ifadah, S. M dan Sugito. 2012. Kinerja IPAL Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah Domestik di UPT Puskesmas Janti Kota Malang. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. Universitas Adi Buana. Surabaya.

Khasanah. 2009. Adsorpsi Logam Berat. Oseana

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

Kristianingrum, S. 2006. Metoe Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat dalam Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Peniddikan Kimia*. Yogyakarta.

Kurniawan, A. dan T. Yamamoto. 2012. Biofilm Polymer For Biosorption of Pollutant Ions. Procedia Environmental Sciences. 17 : 179 – 187.

Mahvi, A., D. Naghipour, F. Vaezi dan S. Nazmara. 2005. Teawaste as An Adsorbent for Heavy Metal Removal from Industrial Wastewater. *American Journal of Applied Science*. **2**(1): 372-375.

Makkasau, A., M. Sjahrul., 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.

Mardiana, E., E. Purwanto dan Budijono. 2014. The Decrease Of Nitrate and Phosphate On Tofu Liquid Waste By Combined Biofilter and *Eichhornia crassipes (Mart) Solms* For Fish Life Media.

Mardihasbullah, E., M. Idris dan K. Sabilu. 2013. Akumulasi Nikel (Ni) Dalam Darah Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal) yang Dibudidayakan di Sekitar Area Tambang. *Jurnal Mina Laut Indonesia*. **1**:(1).

Moertinah, S. 2010. Kajian Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*. **1**(2): 104-144.

Mulyanto. 1992. Lingkungan Hidup Utuk Ikan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan: Jakarta.

Munifah. 2012. Adsorpsi Campuran Ion Logam Cu(II), Fe(III), Ni(II), Ca(II) dan Zn(II) dalam Larutan Sintetik pada Zeolit-A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara Menggunakan Metode Batch dan Kolom. Institiut Teknologi Surabaya. Surabaya.

Munir, E. 2006. Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif untuk Pelestarian Lingkungan. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap. Universitas Sumatera Utara Medan.

Nofdianto. 2010. Aktivitas “Grazing” Merupakan Faktor Penting Pada Pemanfaatan Perifiton Sebagai Agen Biofilter dan Teknologi Akuakultur: Model Pengukuran Laju Grazing dan Aktivitas Tiga Jenis Grazer yang Berbeda. *Biodiversitas dan Bioteknologi Sumberdaya Akuatik*.

Nomanbhay, S. M. And Palanisamy, K. 2005. Removal of Heavy Metal from Industrial Wastewater Using Chitosan Coated Oil Palm Shell Charcoal. *J. Elect. Biotechnol*. **8**: 43-53.

Palar, H. 2012. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta: Jakarta.

PERGUB JATIM No. 72. 2013. Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri. Jawa Timur.

Peraturan Menteri No. 03. 2010. Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.13. 2010. Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup dan Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 93. 1999. Perusahaan Umum (PERUM) Jasa Tirta I.

_____ No. 82. 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

Pohan, H. G., dan B. Tjiptahadi. 1987. Pembuatan Desain/Prototipe Alat Pembuatan Arang Aktif dan Studi Teknologi Ekonominya. BBPP IHP Proyek Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian IPB. Bogor

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

Rakhmawati, A. 2006. Biosorpsi Ion Logam Kadmium oleh *Aspergillus flavus*. [*Seminar Nasional*]. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Ridhowati, S. 2013. Mengenal Pencemaran Ragam Logam. 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.

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

Sabilu, K. 2010. Dampak Toksisitas Nikel Terhadap Kondisis Hematologi Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) Forsskal, Studi Lanjut Respon Fisiologi. *Paradigma*. **14**(2): 205-216.

Said, N. I. 2002. Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tekstil Dengan Proses Biofilter Anaeerob-Aerob Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. **2**(2): 124-135.

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

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

Simanjuntak, M. 2012. Kualitas Air Laut di Tinjau dari Aspek Zat Hara, Oksigen Terlarut dan pH di Perairan Banggai, Sulawesi Tengah. Dalam Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 4 (2): 290-303.

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

Sudarno. 2012. Perkembangan Biofilm Nitrifikasi Di Fixed Bed Reactor Pada Salinitas Tinggi. *Jurnal Presipitasi*. **9**(1).

Sugiyarto, K.H dan Suyanti, R.D. 2010. Kimia Anorganik Logam. Graha Ilmu. Yogyakarta.

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

Suharto, Ign. 2010. Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air. Andi: Yogyakarta.

Sunardi. 2011. Penurunan Kadar Krom (Vi) Dengan *Sargassum Sp*, *Saccharomyces Cerevisiae* Dan Kombinasinya Pada Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Ekosains*. **3**(1).

Susanti. T. 2009. Studi Biosorpsi Ion Logam Cr (VI) oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Kalsium Alginat. [*Skripsi*]. Universitas Indonesia. Depok.

Susilawati. 2009. Studi Biosorpsi Ion Logam Cd (II) oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Silika Gel. [*Skripsi*]. Universitas Indonesia. Depok.

Switarto, B. dan Sugito. 2012. Aplikasi Biofilter Aerobik Untuk Menurunkan Kandungan Detergen pada Air Limbah Laundry. Jurnal Teknik Waktu. 10(2): 1412-1867.

Syarief. 2010. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat, Temperatur, dan Tegangan Permukaan pada Proses Adsorpsi Gliserol oleh Alumina. [*Skripsi*]. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Taba, P., N. L. Nafie, S. Fauziah, Mildayati dan Maryam. 2009. Biosorpsi Ion Ni(II) dan Cr(VI) oleh Ampas Sagu. *J. Sains Mipa*. **15**(3): 141-148.

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

Vlack, L. H. V. 1992. Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logan dan Bukan Logam). Elangga: Jakarta.

Wasono. 2010. Adsorpsi Pb(II) dan Ni(II) dengan Zeolit Alam dan Hasil Modifikasinya. [*Skripsi*]. Universitas Diponegoro. Semarang

Wibowo, M. E. 2005. Pengolahan Limbah Domestik dengan Aerasi dan Penambahan Bakteri Pseudomonas putida. [*Skripsi*]. Jurusan Biologi FMIPA UNS.

Widihati, I.A.G., N.G.A.M.D.A. Suastuti., M.A.Y. Nirmalasari. 2012. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan Arang Batang Pisang (Musa paradisiaca). *Jurnal Kimia*. **6**(1): 8-16.

Widowati, W. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Andi: Yogyakarta.

Wiyarsi, A dan E. Priyambodo. 2011. Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang Terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Berat. Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA UNY: Yogyakarta.

Wolf, G. 2005. Kinetic and Metabolic Modelling of Aquatic Phototropic Biofilms. Delft University of Technology, Department of Biotechnology, Environmental Biotechnology Group.

Yefridaa dan Yuniartis. 2010. Biosorpsi Logam Berat Kadmium dengan Menggunakan Serbuk Gergaji. [*Tesis*]. Universitas Andalas. Padang.

Yudo, S. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai DKI Jakarta. *JAI*. **2**(1).

Yulianto, B., R. Ario dan A. Triono. 2006. Daya Serap Rumput Laut (*Gracilaria sp*) Terhadap Logam BeratTembaga (Cu) Sebagai Biofilter. *Ilmu Kelautan*. **2**(2): 72-78.

Zubair, M., M. Ashraf, M. Arshad, A. Raza, B. Mustafa dan A. Ahsan. 2014. Formation and Significance of Bacterial Biofilms. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*. **3**(12): 917-923.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan

Alat

No	Alat	Bahan
1	Magnetic stirer	Untuk mengaduk campuran larutan
2	Erlenmeyer	Untuk menghomogenkan larutan saat pengenceran
3	Gelas ukur 100 ml	Untuk mengukur volume larutan yang akan ditambahkan
4	Bak ukuran 5L	Sebagai bak percobaan
5	Pipet tetes	Untuk mengambil larutan dalam skala kecil
6	Pipet volum	Untuk mengambil larutan dalam skala besar
7	Termometer Hg	Untuk mengukur suhu
8	pH meter	Untuk mengukur pH
9	Cool box	Sebagai wadah biofilm
10	Spektrofotometer serapan atom	Untuk mengukur kadar logam berat yang terakumulasi di air
11	Sikat gigi	Untuk memisahkan biofilm dengan media tumbuh
12	Sentrifuge	Untuk memisahkan supernatan dan pelet
13	Beaker glass 50 ml	Sebagai wadah pada saat memisahkan biofil dari media tumbuh

Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	$NiCl_2$	Sebagai bahan kimia logam Ni saat akan membuat bahan pencemar
2	Aquadest	Untuk media penelitian
3	Batu kali	Sebagai media tumbuh biofilm
4	Kertas label	Untuk memberikan label pada setiap perlakuan
5	logam Ni	Sebagai komponen bahan pencemar utama

Lampiran 2. Lokasi Penelitian

Waduk Lahor dekat keramba jaring apung dan tempat pemancingan

Lampiran 3. Analisis Perhitungan Regresi Menggunakan SPSS V.2.0

```
REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT Y
  /METHOD=ENTER X.
```

Regression

Notes

Output Created		19-MAY-2015 14:32:31
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	6
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.
Syntax		REGRESSION /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT Y /METHOD=ENTER X.
Resources	Processor Time	00:00:00.05
	Elapsed Time	00:00:00.28
	Memory Required	1356 bytes
	Additional Memory Required for Residual Plots	0 bytes

[DataSet0]

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X[b]	.	Enter

a. Dependent Variable: Y

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.866[a]	.749	.687	1.76355

a. Predictors: (Constant), X

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	37.209	1	37.209	11.964	.026[b]
	Residual	12.441	4	3.110		
	Total	49.649	5			

a. Dependent Variable: Y

b. Predictors: (Constant), X

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	9.190	1.766		5.203	.007
	X	-.531	.153	-.866	-3.459	.026

a. Dependent Variable: Y

Data Adsorpsi Isoterm *Langmuir*

Konsentrasi Keseimbangan (mM)	Jumlah Ni yg Terserap oleh Biofilm (N) (mmol/gr)	C/N
4.60	0.52	8.82
6.88	1.15	5.95
7.76	2.61	2.97
11.22	5.68	1.97
14.19	11.79	1.20
18.41	24.07	0.76

Keterangan:

C/N : konsentrasi keseimbangan berbanding jumlah milimol logam nikel per gr biofilm

Lampiran 4. Perhitungan Kinetik Adsorpsi dan Adsorpsi Isoterm

Kinetik Adsorpsi

Hasil Pengukuran			Rata-rata	Konsentrasi Ni didalam Biofilm (mM)	Volume (L)	mmol/L	Berat Biofilm (gr)	q (mmol/gr)	Standart Deviasi
Waktu Kontak	ppm	mM							
Kontrol 1	2.95	0.05	0.05	0.00	0.30	0.00	2.50	0.00	0.00
2	3.25	0.06							
3	2.85	0.05							
5 menit 1	25.41	0.43	0.43	14.57	0.27	3.93	2.25	1.75	0.02
2	27.10	0.46							
3	24.39	0.41							
30 menit 1	21.34	0.36	0.35	14.65	0.24	3.52	2.00	1.76	0.02
2	19.65	0.33							
3	21.68	0.37							
60 menit 1	22.36	0.38	0.36	14.64	0.21	3.07	1.75	1.76	0.02
2	19.99	0.34							
3	21.68	0.37							
120 menit 1	19.31	0.33	0.32	14.68	0.18	2.64	1.50	1.76	0.01
2	18.29	0.31							
3	19.65	0.33							
300 menit 1	16.94	0.29	0.30	14.70	0.15	2.20	1.25	1.76	0.02
2	19.31	0.33							
3	17.62	0.30							

Adsorpsi Isoterm

Hasil Pengukuran			Rata-rata	Konsentrasi Ni didalam Biofilm	Volume (L)	mmol/L	Berat Biofilm (gr)	q (mmol/gr)	Akumulasi Ni yg Terserap oleh Biofilm (N)	Standart Deviasi
Perlakuan	ppm	mM								
Kontrol 1	1.90	0.03	0.03	0.00	0.12	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00
2	1.59	0.03								
3	1.80	0.03								
15 mM 1	278.00	4.71	4.59	10.41	0.12	1.25	2.40	0.52	0.52	0.41
2	244.00	4.14								
3	291.00	4.93								
30 mM 1	413.00	7.00	6.89	12.71	0.12	1.52	2.40	0.64	1.16	0.42
2	379.00	6.42								
3	427.00	7.24								
60 mM 1	474.00	8.03	7.77	29.12	0.12	3.49	2.40	1.46	2.61	0.29
2	440.00	7.46								
3	461.00	7.81								
125 mM 1	644.00	10.92	11.22	61.55	0.12	7.39	2.40	3.08	5.69	0.29
2	678.00	11.49								
3	664.00	11.25								
250 mM 1	881.00	14.93	14.20	122.02	0.12	14.64	2.40	6.10	11.79	0.70
2	799.00	13.54								
3	833.00	14.12								
500 mM 1	1091.00	18.49	18.41	245.79	0.12	29.49	2.40	12.29	24.08	0.35
2	1104.00	18.71								
3	1064.00	18.03								

Data Pengukuran Suhu dan pH

Ulangan ke-	Suhu	pH
1	32ºC	7
2	32ºC	7
3	32ºC	6
Rata-rata	**32ºC**	**6.7**

Keterangan:

Mmol/L : perbandingan milimol logam Ni dengan volume

Q : jumlah akumulasi milimol logam Ni per gram biofilm

Lampiran 5. Foto Kegiatan Penelitian

Batu tempat melekat biofilm

Pemisahan biofilm dari media

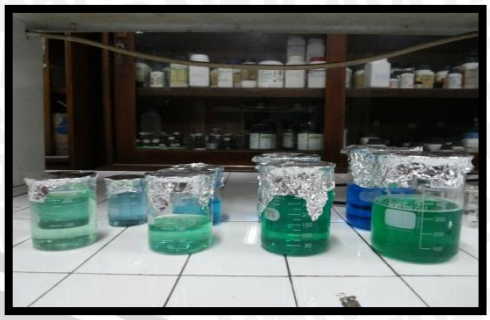
Biofilm yang akan diberi perlakuan

Proses saat larutan di *stirer*

Sampel yang sudah di *sentrifuge*

Sampel yang akan dianalisis

Serbuk logam nikel



Larutan logam nikel

Pembuatan logam nikel

Pembuatan logam nikel