

**EFEKTIVITAS BIOFILM *Pseudomonas putida*
DENGAN MEDIUM PENDUKUNG PIPA PVC DAN TEMPURUNG
KELAPA UNTUK MENURUNKAN KADAR KROMIUM (Cr)
LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh gelar Sarjana Sains**



Oleh

Ana Nur Chasanah

M 0402015

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2007

PERSETUJUAN
Skripsi
EFEKTIVITAS BIOFILM *Pseudomonas putida*
DENGAN MEDIUM PENDUKUNG PIPA PVC DAN TEMPURUNG
KELAPA UNTUK MENURUNKAN KADAR KROMIUM (Cr)
LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT

Oleh :

Ana Nur Chasanah

M 0402015

telah disetujui untuk diujikan

Surakarta, April 2007

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Dra. Ratna Setyaningsih, M. Si

NIP. 132 240 377

Ari Susilowati, M. Si

NIP. 132 169 255

Mengetahui

Ketua Jurusan Biologi

Drs. Wiryanto, M.Si

NIP. 131 124 613

PENGESAHAN

Skripsi

**EFEKTIVITAS BIOFILM *Pseudomonas putida*
DENGAN MEDIUM PENDUKUNG PIPA PVC DAN TEMPURUNG
KELAPA UNTUK MENURUNKAN KADAR KROMIUM (Cr)
LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT**

Oleh :

Ana Nur Chasanah

M 0402015

telah dipertahankan di depan Tim Penguji

pada tanggal 30 April 2007

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Surakarta, Mei 2007

Penguji III

Penguji I

Dra. Ratna Setyaningsih, M. Si
NIP 132 240 377

Dr. Sugiyarto, M.Si
NIP. 132 007 622

Penguji IV

Penguji II

Ari Susilowati, M. Si.
NIP 132 169 255

Agung Budiharjo, M.Si.
NIP 132 259 223

Mengesahkan

Dekan F. MIPA

Ketua Jurusan Biologi

Drs. Marsusi, M.S
NIP. 130 906 776

Drs. Wiryanto, M.Si
NIP. 131 124 613

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari dapat ditemukan adanya unsur penjiplakan maka gelar kesarjanaan yang telah diperoleh dapat ditinjau dan/ atau dicabut.

Surakarta, Mei 2007

Ana Nur Chasanah

NIM. M0402015

ABSTRAK

Ana Nur Chasanah. 2007. EFEKTIVITAS BIOFILM *Pseudomonas putida* DENGAN MEDIUM PENDUKUNG PIPA PVC DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK MENURUNKAN KADAR KROMIUM (Cr) LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT. Jurusan Biologi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dan kemampuan biofilm *Pseudomonas putida* dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa dalam menurunkan kandungan logam kromium (Cr) limbah cair industri penyamakan kulit.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan bioreaktor untuk menumbuhkan biofilm dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa. Selain itu juga digunakan *P. Putida* dalam bentuk planktonik untuk mengetahui kemampuannya dalam menurunkan Cr. Parameter yang diamati adalah penurunan konsentrasi Cr oleh biofilm dan bakteri planktonik dengan masing-masing 3 ulangan. Ketebalan biofilm digunakan untuk menentukan kapasitas biofilm. Data dianalisis dengan menggunakan *Analisis of Variance* (ANOVA) dan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan medium pendukung memberikan pengaruh yang signifikan pada kemampuan biofilm dalam menurunkan kandungan Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit meskipun belum dapat memenuhi baku mutu. Persentase penyerapan tertinggi didapatkan pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa (60,5787%), diikuti oleh biofilm dengan medium pendukung pipa PVC (41,3665%) dan bakteri planktonik *P. putida* (32,0565%). Nilai kapasitas penyerapan biofilm terhadap kromium dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa masing-masing adalah 28,5394 mg/g dan 16,5328 mg/g. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa medium pendukung yang lebih efektif digunakan berdasarkan persentase penyerapan adalah tempurung kelapa.

Kata Kunci : biofilm, *Pseudomonas putida*, pipa PVC, tempurung kelapa, kromium, limbah.

ABSTRACT

Ana Nur Chasanah. 2007. The EFFECTIVENESS of BIOFILM *Pseudomonas putida* with PVC CONDUIT and COCONUT SHELL MATERIAL SUPPORTS to REDUCE CHROMIUM in LEATHER TANNING WASTE WATER. Biology Departement. Mathematic And Natural Science Faculty. SEBELAS MARET UNIVERSITY.

The research was conducted to recognize the effectiveness and biofilm capability of *Pseudomonas putida* with PVC conduit and coconut shell material supports to reduce chromium (Cr) of leather tanning waste water.

The research have done used bioreactor to grow biofilm with PVC conduit and coconut shell material supports. Also using *P. putida* inform planktonic to recognize its ability to reduce Cr. Parameter that observed was decrease of Cr concentration by biofilm and planktonic bacteria in 3 replicates. Biofilm thickness used to determine biofilm capacity. Data was analyzed by Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5%.

The results of the research showed that material supports differences gave significant influence on biofilm capability to reduce chromium ini leather tanning waste water inspite of had not accomplished yet. Biofilm with material support coconut shell have highest adsorption percentage reached 60,5787%, was followed PVC conduit 41,3665% and *P. putida* planktonic 32,0565%. Based on adsorption percentage, material support which more effective to used was coconut shell. Biofilm adsorption capacity of Cr in PVC conduit and coconut shell material supports was capacity 16,5328 mg/g and 28,5394 mg/g. Based on adsorption percentage, material support which more effective to used was coconut shell.

Keywords : biofilm, *Pseudomonas putida*, PVC conduit, coconut shell, chromium, waste.

MOTTO

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Hasbunallah wa ni'mal wakil, ni'mal maula wa ni'man nashir

**“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka sendiri”
(Q. S. Ar ra'du : 11)**

**”Sesungguhnya setelah kesulitan itu pasti ada kemudahan”
(Q. S. Al Insyiroh : 7)**

**“Orang yang cerdas adalah yang menghitung dirinya dan mempersiapkan amal untuk bekal sesudah mati”
(HR. Tirmidzi)**

**“Orang yang cerdas bukanlah orang yang dapat membedakan yang baik dan yang buruk. Tetapi orang yang cerdas adalah orang yang dapat memilih yang lebih ringan dari dua keburukan”
(Umar bin Khattab).**

**“Orang yang naik panggung tanpa persiapan, maka ia akan turun panggung tanpa penghormatan”
(Cicero)**

Alhamdulillahirrabbi'l'alamin

PERSEMBAHAN

Allah Subhanna wa Ta'ala,
atas segala nikmat yang takkan pernah
terhitung
walau air laut dijadikan tinta dan pohon-pohon
dijadikan pena,
takkan pernah dapat menuliskan banyaknya nikmat
yang telah Engkau berikan

Rasulullah Muhammad SAW,
sang manusia pilihan, suri tauladan yang tak
akan pernah tertandingi

Agama ini, kupersembahkan karya kecilku ini

Yang tercinta dan tersayang, Keluargaku
Bapak, Ibu, Mas Yudi, Mbak Yuli dan Mas Zain
serta adikku Ida

Ikhwah fiddin di manapun berada

Almamaterku

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini. Sholawat dan salam semoga senantiasa terlimpah kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Di alam, bakteri banyak dijumpai dalam bentuk planktonik atau melekat pada suatu permukaan membentuk biofilm. Sel biofilm mempunyai ketahanan lebih besar terhadap bahan-bahan antimikroba maupun kondisi fisik yang ekstrim bila dibandingkan dalam bentuk sel planktonik. Bentuk kehidupan bakteri yang dominan di alam adalah dalam bentuk biofilm, kira-kira lebih dari 90%. Biofilm dapat terbentuk apabila sel bakteri menempel pada suatu permukaan yang lembab. Berbagai bahan seperti gelas, stainless steel, pipa PVC dan tempurung kelapa dapat digunakan untuk medium pendukung terbentuknya biofilm.

Penelitian ini mengambil tema tentang variasi penggunaan medium pendukung biofilm untuk menurunkan kandungan logam berat, dengan judul “EFEKTIVITAS BIOFILM *Pseudomonas putida* DENGAN MEDIUM PENDUKUNG PIPA PVC DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK MENURUNKAN KADAR KROMIUM (Cr) LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT”. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi biofilm dalam menurunkan kandungan logam berat yang terdapat pada limbah cair dan memberikan alternatif medium pendukung terbentuknya biofilm. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pusat MIPA Sub.Lab biologi dan sub.Lab Kimia UNS Surakarta, pada bulan Juli-Desember 2006.

Surakarta, April 2007

Ana Nur Chasanah

NIM. M0402015

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Perumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II. LANDASAN TEORI.....	6
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Kerangka Pemikiran	17
C. Hipotesis.....	18
BAB III. METODE PENELITIAN.....	19
A. Waktu dan Tempat	19
B. Alat dan Bahan	19
C. Cara Kerja.....	21
D. Teknik Pengumpulan Data dan Analisa Data	26

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
A. Pembentukan Biofilm.....	28
B. Biosorpsi Logam Cr Menggunakan Biofilm	36
C. Kapasitas Penyerapan Logam Cr.....	46
BAB V. PENUTUP.....	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	56
HALAMAN UCAPAN TERIMAKASIH	74
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	77

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jumlah penurunan Cr oleh biofilm dan bakteri planktonik <i>P. putida</i> (dalam ppm).....	38
Tabel 2. Kapasitas penyerapan logam kromium oleh biofilm <i>P. putida</i> dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC	46
Tabel 3. Baku Mutu Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit, berlaku bagi industri baru yang diperluas dan bagi semua industri	56
Tabel 4. Pengolahan limbah cair yang mengandung kromium dengan menggunakan bakteri <i>P. Putida</i>	59
Tabel 5. Pengolahan limbah cair menggunakan biofilm <i>P. putida</i> dengan medium pendukung pipa PVC	60
Tabel 6. Pengolahan limbah cair menggunakan biofilm <i>P. putida</i> dengan medium pendukung tempurung kelapa	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Morfologi sel bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	15
Gambar 2. Kerangka Pemikiran Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Biofilm <i>Pseudomonas putida</i> ..	17
Gambar 3. Reaktor untuk Biosorpsi Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit..	22
Gambar 4. <i>Foaming</i> yang terjadi pada reaktor.....	30
Gambar 5. Biofilm yang terbentuk pada medium pendukung a. pipa PVC	31
b. tempurung kelapa.....	31
Gambar 6. Siklus terbentuknya biofilm	35
Gambar 7. Ketebalan biofilm yang terbentuk pada medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa	38
Gambar 8. Grafik penurunan konsentrasi kromium dalam limbah cair setelah biosorpsi dengan biofilm dan bakteri <i>P. putida</i> planktonik.	41
Gambar 9. Grafik persentase penyerapan logam kromium oleh biofilm <i>P. putida</i> dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC serta bakteri <i>P. Putida</i>	43
Gambar 10. Reaksi asam basa.....	45
Gambar 11. Grafik kapasitas penyerapan logam kromium oleh biofilm <i>P. putida</i> dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC	48
Gambar 12. Foto reaktor dengan medium pendukung tempurung kelapa.....	57
Gambar 13. Foto reaktor dengan medium pendukung pipa PVC	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Baku Mutu Limbah Industri Penyamakan Kulit.....	56
Lampiran 2. Foto Reaktor	57
Lampiran 3. Perhitungan Persentase penyerapan Cr.....	58
Lampiran 4. Uji Statistik Jumlah Penurunan Kadar kromium (Cr)	62
Lampiran 5. Uji Statistik Kapasitas Penyerapan Cr oleh Biofilm	70

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pencemaran lingkungan perairan akibat buangan limbah industri dapat menyebabkan gangguan terhadap lingkungan dan merupakan bahaya besar bagi flora dan fauna. Hal ini terjadi karena limbah industri mengandung logam berat yang dapat bersifat karsinogenik terhadap manusia, tumbuhan maupun hewan. Kromium merupakan salah satu logam berat yang dihasilkan dari proses produksi pada industri penyamakan kulit. Kehadiran logam krom perlu mendapat perhatian dan penanganan khusus karena mempunyai tingkat toksisitas yang sangat tinggi. Krom, baik Cr^{6+} maupun Cr^{3+} dapat masuk ke dalam jaringan tubuh manusia, tanaman serta hewan dan dapat menyebabkan kanker pada kulit dan alat pernafasan. Garam kromit dan kromat dapat mengakibatkan iritasi pada jaringan luar tubuh manusia. Kadar kromium tertinggi yang boleh terdapat dalam suatu perairan adalah 0,6 ppm sehingga limbah yang dibuang ke dalam perairan harus mempunyai kadar kromium di bawah 0,6 ppm (Potter dkk., 1994; Sajidan, 2006).

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 mikroorganisme (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.

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. Salah satu mikroorganisme yang dapat membentuk biofilm dan dapat digunakan untuk pengolahan limbah industri adalah bakteri *Pseudomonas*. Menurut Teitzel dan Parsek (2003), biofilm *Pseudomonas putida* mempunyai ketahanan terhadap logam kromium (Cr). Berdasarkan penelitian Hussein *et al* (2004), *P. putida* dapat melakukan biosorpsi terhadap logam Cu(II), Cd(II) dan Ni(II). Mengingat besarnya potensi biofilm *P. putida*, maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang potensi biofilm *P. putida* untuk pengolahan limbah industri yang mengandung logam khususnya kromium.

Secara tradisional, berbagai jenis bahan seperti pasir, batuan, plastik, karet, kertas dan pipa saluran air telah digunakan sebagai pendukung terbentuknya biofilm. Bahan sintesis seperti pipa PVC (*polyvinyl chloride*) juga dapat digunakan sebagai medium pendukung biofilm antara lain untuk biosorpsi logam. Penggunaan pipa PVC sebagai bahan pendukung biofilm telah banyak dikenal, antara lain untuk mendukung terbentuknya biofilm *Pseudomonas aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus* (Gorman *et al.*, 2001). Bahan ini banyak digunakan karena secara alami, bakteri seperti *Pseudomonas* dapat membentuk biofilm pada pipa-pipa saluran air yang antara lain terbuat dari PVC. PVC mempunyai luas permukaan yang cukup besar untuk mendukung terbentuknya biofilm karena

mempunyai bentuk silinder. PVC merupakan bahan sintesis, bersifat hidrofob dan mempunyai permukaan yang halus.

Tempurung kelapa digunakan sebagai alternatif medium pendukung biofilm karena selain murah juga mudah didapat, apalagi pemanfaatannya selama ini hanya sebatas untuk bahan bakar atau bahan pembuat hiasan. Bahan ini juga berasal dari alam, bersifat hidrofil, mempunyai banyak pori-pori dan mempunyai permukaan yang lebih kasar dari PVC. Pori-pori yang banyak akan memberikan luas permukaan yang besar sehingga memberikan permukaan perlekatan yang cukup luas untuk membentuk biofilm. Dengan permukaan yang lebih kasar juga diharapkan mikroorganisme akan lebih mudah menempel dibandingkan pada permukaan yang halus. Menurut Anonim (2005) berdasarkan penelitian Pedersen (1990), permukaan yang kasar mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Dalam penelitian ini akan dipelajari penggunaan medium pendukung tempurung kelapa sebagai alternatif medium pendukung biofilm dan mengetahui efektivitasnya dibandingkan biofilm dengan medium pendukung PVC.

B. Perumusan Masalah

1. Berapa persentase penyerapan kromium (Cr) dan kapasitas penyerapan dalam limbah cair industri penyamakan kulit oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung PVC dan medium pendukung tempurung kelapa?
2. Medium pendukung apa yang lebih efektif digunakan dalam pembentukan biofilm untuk menurunkan kadar kromium limbah cair industri penyamakan kulit ?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui persentase dan kapasitas penyerapan Kromium (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung PVC dan medium pendukung tempurung kelapa.
2. Mengetahui medium pendukung biofilm yang lebih efektif digunakan untuk menurunkan kadar kromium limbah cair industri penyamakan kulit.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi tentang potensi biofilm *P. putida* dengan medium pendukung PVC dan tempurung kelapa untuk menurunkan kadar kromium (Cr) limbah industri penyamakan kulit sehingga dapat dijadikan referensi dalam pengolahan limbah untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Selain itu hasil penelitian juga diharapkan dapat memberikan informasi adanya alternatif medium pendukung biofilm berupa tempurung kelapa.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Limbah Industri Penyamakan Kulit

Limbah adalah sampah cair dari suatu lingkungan masyarakat dan terutama terdiri dari air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1% merupakan benda-benda padat yang terdiri dari zat-zat organik dan anorganik (Mahida, 1984). Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 1995 pasal 1 butir (3) yang dimaksud limbah cair adalah limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Industri penyamakan kulit merupakan industri yang mengubah kulit mentah menjadi kulit tersamak yang tahan terhadap pengaruh-pengaruh fisik, kimia dan biologis. Kulit tersamak terbentuk sebagai hasil terjadinya ikatan silang antara protein kolagen kulit dengan molekul zat penyamak yang digunakan, seperti tanin nabati, tawas atau campuran kimia yang mengandung krom sulfat (Potter dkk., 1994) Proses dalam industri penyamakan kulit meliputi proses perendaman dan pencucian (*soaking and washing*), pengapuran (*liming*), penghilangan kapur (*deliming*), pengasaman (*pickling*), penyamakan krom (*krom tanning*), penyamakan formalin (*formalin tanning*), dan proses pengecatan (*polishing*) (Anonim, 1989).

Komposisi air buangan limbah industri penyamakan kulit tergantung sifat dan lamanya proses penyamakan meliputi :

- a. kotoran dari bahan kulit mentah
- b. sisa dekomposisi dan pelepasan bahan organik kulit
- c. jenis bahan yang digunakan selama proses penyamakan dan pengawetan kulit

Bahan kimia yang digunakan selama proses penyamakan ini mempunyai potensi pencemaran yang tinggi (Wiyanto, 1992).

Limbah industri penyamakan kulit memiliki kandungan bahan organik terutama protein dan bahan anorganik yang tinggi. Kehadiran bahan tersebut ke dalam lingkungan perairan akan menyebabkan perubahan-perubahan kualitas air. Beberapa bahan anorganik yang terkandung dalam limbah industri penyamakan kulit adalah krom bervalensi tiga yang digunakan dalam proses *tanning* dan *polishing* (Anonim, 1989; Potter dkk., 1994).

2. Kromium (Cr)

Dewasa ini, pemakaian logam kromium sangat luas di kalangan industri, baik sebagai bahan baku maupun sebagai bahan pembantu yang antara lain meliputi industri penyamakan kulit, industri tekstil, radiator baja tahan karat, industri elektroplating, fotografi, industri cat dan sintesis kimia. Sebagai logam berat, krom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Kromium merupakan logam yang keras dan berwarna putih berkilau. Logam ini merupakan unsur logam peralihan dengan simbol Cr dan mempunyai nomor atom 24. Sifat kimia logam ini antara lain dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi

Cr^{2+} , Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Kromium diperlukan bagi tubuh manusia karena dalam bentuk kromat akan terikat pada sel darah merah tetapi akan bersifat racun bila berlebihan (Majid, 2004; Sajidan, 2006).

Krom merupakan elemen berbahaya di muka bumi dan dijumpai dalam kondisi oksida antara Cr^{2+} , Cr^{3+} sampai dengan Cr^{6+} . Kromium bervalensi tiga merupakan bentuk yang umum dijumpai di alam, dan dalam material biologi, kromium selalu berbentuk valensi tiga, karena kromium valensi enam merupakan salah satu material organik pengoksida tinggi. Kromium valensi tiga memiliki sifat racun yang lebih rendah dibanding valensi enam (Suhendrayatna, 2001). Limbah industri penyamakan kulit umumnya mengandung krom valensi 3 yang tidak membahayakan tetapi jika ada perubahan iklim meskipun kecil ada kemungkinan akan membentuk krom valensi enam yang toksik. Kandungan logam ini sangat tinggi, yaitu berkisar antara 100-400 ppm. Sebelum dilepas ke alam, limbah harus diolah terlebih dahulu sehingga limbah yang dilepas ke alam mempunyai kadar kromium di bawah ambang batas baku mutu yaitu 0,6 ppm.

3. Cara Pengolahan Limbah

Proses pengolahan limbah antara lain terdiri atas pengolahan secara fisika, kimia dan secara biologis. Proses pengolahan secara fisika umumnya dilakukan sebelum limbah mengalami proses lebih lanjut. Proses ini antara lain bertujuan untuk menyaring dan mengendapkan bahan-bahan berukuran besar dan yang mudah mengendap. Pengolahan secara fisika umumnya memerlukan biaya operasi dan instalasi yang besar. Pengolahan secara kimia antara lain bertujuan untuk

menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap, logam-logam berat dan zat organik beracun dengan memberikan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Contohnya penyisihan logam berat dengan menggunakan air kapur yang bersifat alkali sehingga akan terbentuk endapan hidroksida logam tersebut (Mahida, 1984; Dephut, 2004).

Akhir-akhir ini, suatu alternatif metode pengolahan limbah yang dianggap lebih menguntungkan dan semakin banyak digunakan yaitu proses pengolahan limbah secara biologis menggunakan mikroorganisme dengan metode biosorpsi (Sajidan, 2006). Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan mengakumulasi logam berat dari limbah cair. Proses biosorpsi ini 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 (Suhendrayatna, 2001). 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 nutrisi tambahan, biosorben dapat diregenerasi dan memungkinkan kemampuan untuk *recovery* logam (Ahalya *et al.*, 2004).

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan mikroorganisme pada dasarnya ada dua macam. Pertama, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam suatu reaktor. Kedua, mikroorganisme

tumbuh dan berkembang di atas medium pendukung dengan membentuk lapisan film (biofilm).

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. Bakteri yang berkembang di air kotor ada 2 macam yaitu bakteri aerob dan anaerob. Bakteri aerob adalah bakteri yang membutuhkan oksigen bebas untuk keperluan hidupnya dalam menguraikan zat organik menjadi senyawa sederhana dan tidak berbahaya, sedangkan bakteri anaerob adalah bakteri yang tidak memerlukan oksigen untuk keperluan hidupnya dalam menguraikan zat organik menjadi senyawa sederhana dan biasanya tidak dikehendaki karena menimbulkan gas dan bau busuk (Jenie dan Rahayu, 1993). 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 (Sullivan (2004) dalam Wibowo, 2005).

Beberapa mikroorganisme antara lain jamur, alga dan bakteri mampu melakukan aktivitas biosorpsi logam berat secara baik (Kartodiwiryo, 2006). Beberapa bakteri diketahui mampu mendetoksifikasi Cr(VI) menjadi Cr(III) yang lebih aman dan diketahui tiga isolat bakteri yang tahan hidup dalam media yang mengandung logam berat yaitu *Pseudomonas sp*, *Escherichia sp* dan *Klebsiella sp*

(Wahyuningsih, 2004; Mardiyono, 2005). Hal ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan proses biosorpsi sehingga berpotensi dan layak secara ekonomis diaplikasikan pada teknologi penghilangan dan proses *recovery* ion logam berat dari suatu perairan tercemar.

4. Biofilm Mikroorganisme

Proses pemisahan dan *recovery* merupakan proses pemisahan biomassa dari air yang terpolusi setelah pengolahan serta berkenaan dengan proses pengikatan logam berat dari suatu biomassa mikroorganisme. Proses filtrasi dan sentrifugasi yang saat ini rutin dilakukan di laboratorium dinilai tidak praktis bila diterapkan pada proses industri sehingga penerapan immobilisasi mikroorganisme dipandang sangat praktis digunakan (Suhendrayatna, 2001; Qureshi *et al.*, 2001).

Sistem immobilisasi sangat cocok untuk sistem pengolahan limbah yang tidak merusak lingkungan. Metode yang telah digunakan untuk immobilisasi mikroorganisme adalah dengan penempelan pada suatu medium pendukung untuk pembentukan biofilm (Suhendrayatna, 2001; Qureshi *et al.*, 2001; Andrew, 2005). Biofilm terbentuk ketika bakteri menempel pada suatu permukaan pada lingkungan yang lembab dan mulai mensekresikan suatu lendir yang dapat melekatkannya pada berbagai jenis benda seperti logam, plastik, pasir, partikel tanah dan jaringan (Stewart, 2005).

Biofilm terdiri dari sel mikroorganisme dan *Extracellular Polymeric Substances* (EPS). Komponen utama EPS terdiri dari polisakarida yang dapat

berasosiasi dengan ion-ion logam dan makromolekul lain seperti protein dan lipid (Donlan, 2002).

5. Medium Pendukung Biofilm

Proses pembentukan biofilm dapat dilakukan dalam suatu reaktor *fixed bed reaktor*. Pada reaktor ini, sel dikungkung pada permukaan benda padat yang tidak bergerak sebagai medium pendukung seperti pasir, spons, balok kayu atau benda-benda berserabut seperti plastik atau gelas dan benda-benda yang mempunyai permukaan perlekatan yang luas. Sel juga dapat menempel pada permukaan gel seperti agar dan karagenan (Anonim, 2005).

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai medium pendukung biofilm adalah *Polyvinyl Chloride* (PVC). PVC dihasilkan dari bahan baku utama minyak tanah dan garam (NaCl). Minyak bumi diolah melalui proses pemecahan molekul (*cracking*) menjadi berbagai zat termasuk etilen (C_2H_4), sedangkan NaCl diolah melalui proses elektrolisis menjadi natrium hidroksida (NaOH) dan gas Klor (Cl_2). Reaksi etilen dan gas klor menghasilkan etilen dikorida (CH_2Cl-CH_2Cl), yang akan menghasilkan gas vinil klorida dan asam klorida (HCl) dalam proses *cracking*. Akhirnya, melalui proses polimerisasi dari monomer vinil klorida akan menghasilkan polimer polivinil klorida yang disebut dengan resin PVC. Resin ini harus diolah lagi untuk menghasilkan produk akhir yang bermanfaat sesuai dengan sifat yang diinginkan. Pipa PVC didapatkan dari hasil ekstruksi, melalui pemanasan dan kemudian dialirkan ke suatu cetakan (Poerwanto, 2002).

Penelitian yang dilakukan oleh Qureshi *et al.*, (2001) menggunakan pipa PVC (*polyvinyl chloride*) sebagai medium pendukung terbentuknya biofilm untuk menurunkan kandungan logam Cu mempunyai persentase penurunan Cu mencapai 85%. Hasil penelitian Pedersen (1990) dalam Switzenbaum *et.al.* (2005), membandingkan pembentukan biofilm pada dua medium pendukung yaitu stainless steel dengan permukaan kasar, bersifat hidrophil dan PVC dengan permukaan halus yang bersifat hidrofob. Setelah 167 hari, jumlah sel yang tumbuh di kedua medium pendukung hampir sama. Tetapi pada permukaan yang lebih kasar pada *matt finish stainless steel* ditemukan jumlah mikroorganisme yang lebih besar dibandingkan *electropolished stainless steel*. Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan yang kasar memberikan luas permukaan yang lebih besar sehingga jumlah mikroorganisme yang menempel juga lebih banyak. Luas permukaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan biofilm.

Tempurung merupakan bagian dari buah kelapa yang mempunyai lapisan paling keras yang terdiri dari lignin 36%, selulosa 33,61%, hemiselulosa 19,27%, metoksi dan berbagai mineral. Struktur yang keras disebabkan karena adanya silikat (SiO_2) (Deputi Menristek, 2004). Lignin merupakan “semen perekat” yang mengikat fibril-fibril selulosa bersama-sama dan akan memberikan stabilitas pada tempurung, sedangkan selulosa merupakan bahan utama dinding sel tumbuhan. Hemiselulosa umumnya ditemukan bersama-sama dengan selulosa dalam dinding sel tumbuhan (Stevens, 2001).

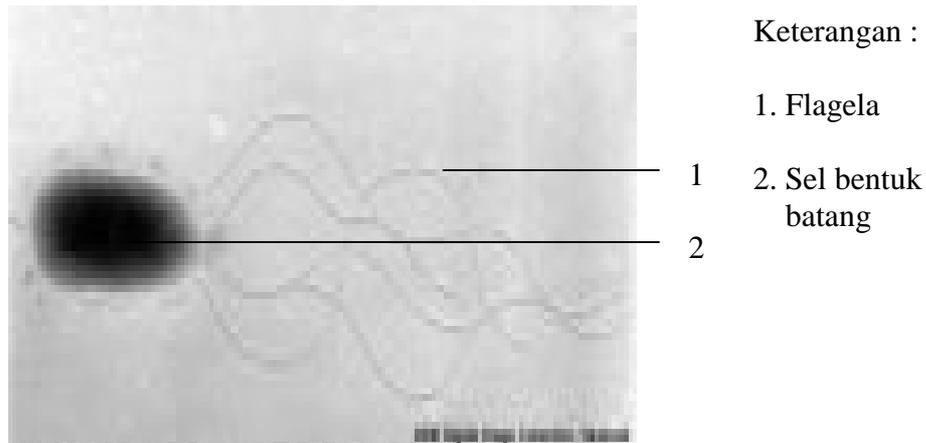
Unsur utama pembentuk tempurung kelapa adalah karbon (C). Tetapi susunan atom C dalam tempurung tidak teratur dan banyak terdapat pori-pori sehingga digunakan sebagai penyerap dengan memanfaatkan pori-porinya. Biasanya tempurung kelapa banyak dimanfaatkan dalam bentuk arang aktif karena mempunyai pori-pori yang sangat banyak sehingga meningkatkan luas permukaan dan mempunyai daya serap tinggi (Kebamoto, 2004; Anonim, 2007).

Kunci dalam aliran dan transportasi material biologi pada biofilm adalah permeabilitas dan porositas bahan, yang berfungsi untuk pertukaran massa dan penyebaran biofilm ((Bowers, 2006). Dari penelitian Suchomel *et.al.* (1998) tentang permeabilitas dan porositas media, didapatkan bahwa permeabilitas dan porositas media akan mempengaruhi jumlah biofilm yang terbentuk. Hal ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam mencari alternatif medium pendukung biofilm.

6. *Pseudomonas putida*

Bakteri *Pseudomonas putida* dimasukkan dalam famili Pseudomonadaceae dan mudah ditemukan di tanah, air dan pada permukaan yang bersentuhan dengan tanah atau air (Donnel dan Fellow, 1994; Anonim, 2004). *Pseudomonas putida* diketahui mampu memanfaatkan senyawa hidrokarbon aromatik seperti toluen, xilen dan metil benzoat sebagai satu-satunya sumber karbon (Gibson, 1984). Ciri-ciri penting *P. putida* antara lain adalah berbentuk batang, gram negatif, tidak berspora, sebagian besar bergerak aktif, dan aerob. Motilitas bakteri ini menggunakan satu atau beberapa flagela yang polar. Temperatur pertumbuhan optimumnya adalah 25-30°C (termasuk kelompok mesofilik) (Schlegel dan

Schmidt, 1994; Iglewski, 1999). Morfologi *Pseudomonas putida* dapat dilihat seperti pada gambar 1.



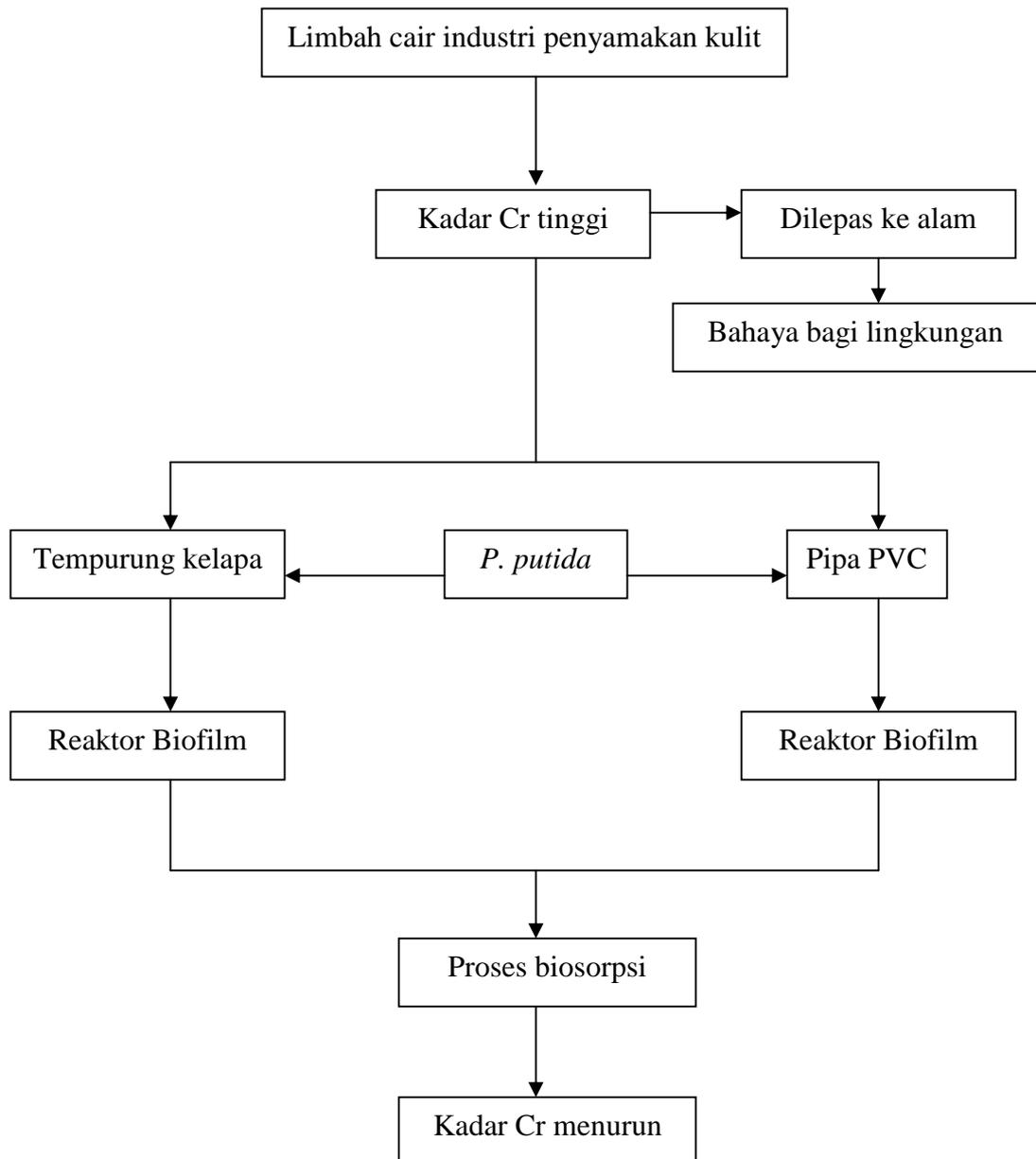
Gambar. 1. Morfologi sel bakteri *Pseudomonas putida* (Harwood *et.al.*,1989)

Tipe bakteri *Pseudomonas* di alam dapat sebagai biofilm yang menempel pada beberapa permukaan atau substrat, atau dalam bentuk planktonik sebagai organisme uniseluler, aktif berenang/melayang-layang dengan flagela. Metabolismenya dengan respirasi tidak pernah dengan fermentasi, tetapi dapat tumbuh tanpa adanya oksigen bila tersedia NO_3 sebagai akseptor elektron (Anonim, 2004).

Berdasarkan penelitian Hussein *et al* (2004) terhadap 3 strain *P. putida* menunjukkan bahwa bakteri ini mempunyai ketahanan dan mampu mengakumulasi ion-ion logam Cu(II), Cd(II) dan Ni(II). Kemampuan homeostasis dan mentoleransi logam berat ini disebabkan karena adanya genom yang mengkodekan kapasitas tersebut, misalnya pada *P. putida* KT 2440. Bakteri ini mempunyai molekul pembawa untuk pengambilan logam-logam esensial seperti Zn, Mo, Mn dan Ni (Canovas *et al.*, 2003).

B. Kerangka Pemikiran

Pseudomonas putida merupakan salah satu anggota genus *Pseudomonas*. Adanya protein dan polisakarida pada dinding sel memegang peranan penting dalam proses biosorpsi ion logam berat. Kromium (Cr) merupakan salah satu bahan anorganik yang terdapat dalam limbah industri penyamakan kulit. Kandungan logam ini sangat tinggi dan bersifat karsinogenik sehingga harus diolah terlebih dahulu agar kandungan kromium tersebut turun dan diharapkan dapat memenuhi baku mutu. Bakteri *P. putida* dapat digunakan untuk pengolahan limbah industri penyamakan kulit dalam bentuk biofilm, yang akan terbentuk apabila bakteri menempel pada suatu permukaan. Medium pendukung yang dapat digunakan untuk membentuk biofilm antara lain adalah pipa PVC. Tempurung kelapa diharapkan juga dapat digunakan sebagai alternatif medium pendukung terbentuknya biofilm karena mempunyai permukaan perlekatan yang luas, berasal dari alam dan mempunyai porositas tinggi yang mendukung dalam proses adsorpsi. Kerangka pemikiran secara jelas dapat dilihat pada Gambar. 2



Gambar 2. Kerangka Pemikiran Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Biofilm *Pseudomonas putida*

C. Hipotesis

1. Persentase penyerapan kromium (Cr) menggunakan biofilm bakteri *Pseudomonas putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa lebih besar dibandingkan biofilm dengan medium pendukung pipa PVC yaitu di atas 50%.
2. Kapasitas penyerapan kromium (Cr) menggunakan biofilm bakteri *Pseudomonas putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa lebih besar dibandingkan biofilm dengan medium pendukung pipa PVC.
3. Medium pendukung yang lebih efektif digunakan untuk menurunkan kadar kromium limbah cair industri penyamakan kulit adalah tempurung kelapa.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan selama 7 bulan mulai bulan Juni-Desember 2006 di Laboratorium Pusat MIPA sub Lab. Biologi dan sub Lab. Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

- a. Seperangkat alat penyiapan bakteri *P. putida* (kertas alumunium foil, autoklaf, Erlenmeyer, gelas pengaduk, kawat lup/jarum ose, tabung reaksi, inkubator, pengaduk magnetik, cawan petri, mikropipet dan tip steril, gelas beker, gelas ukur, pembakar bunsen, kapas, timbangan elektrik).
- b. Seperangkat alat bioreaktor
- c. Seperangkat alat pengambilan sampel limbah (jerigen, botol dan ember plastik)
- d. Timbangan
- e. Inkubator
- f. Spektrofotometer Serapan Atom tipe AA-630-12
- g. Freezer

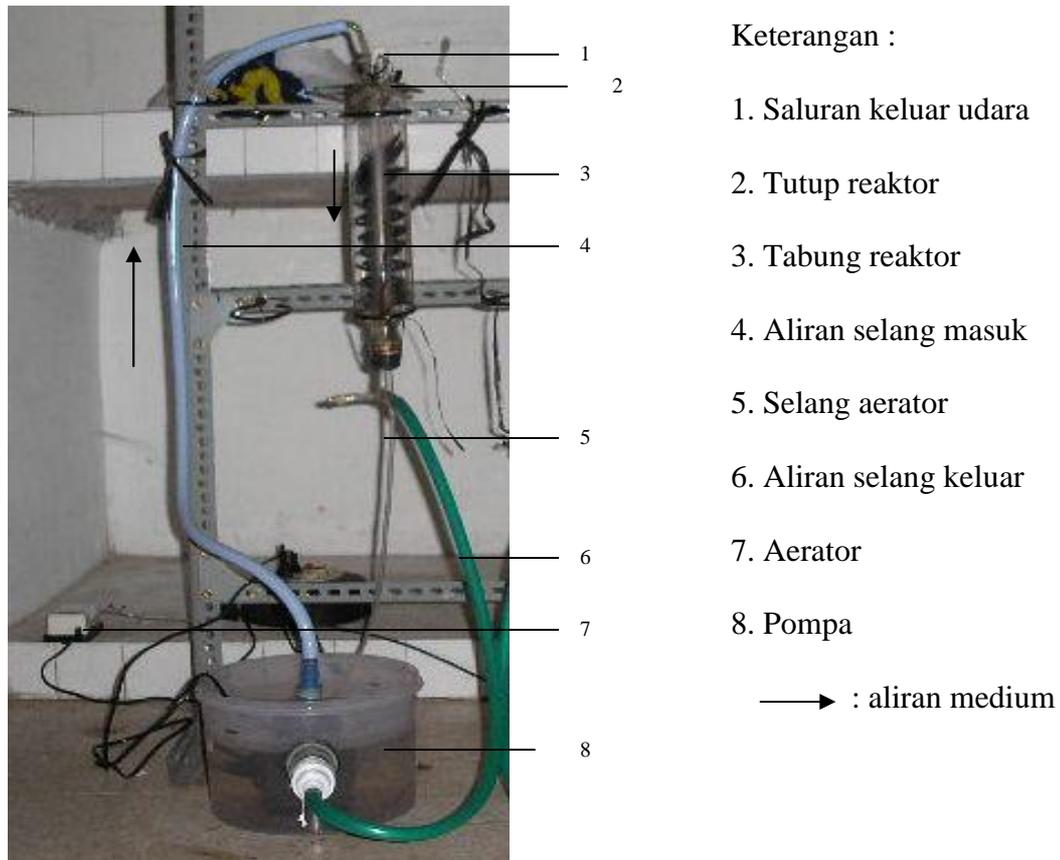
2. Bahan

- a. Aquades
- b. Alkohol 70 %
- c. Air Spiritus
- d. Medium Nutrient Broth (NB) dan Nutrient Agar (NA)
- e. Biakan bakteri *Pseudomonas putida* dari Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM.
- f. Limbah cair industri penyamakan kulit yang diambil dari PT. Budi Makmur Jayamurni Rejowinangun Yogyakarta.
- g. Medium untuk penumbuhan bakteri dan pembentukan biofilm berupa NH_4Cl , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ekstrak khamir, NaOH , K_2HPO_4 (Qureshi *et al.*, 2001).
- h. Pipa PVC
- i. Tempurung kelapa

C. Cara Kerja

1. Penyiapan Bioreaktor

- a. Bioreaktor terdiri dari seperangkat alat tabung kaca dengan diameter 7 cm dan tinggi 30 cm sebagai kolom reaktor berdasarkan pertimbangan volume tangki reaktor (1000 ml) lebih besar daripada volume sampel air (500 ml) agar medium pendukung tidak terendam (Qureshi *et al.*, 2001).
- b. Penutup bagian atas dan bawah bioreaktor dipasang, kemudian disambungkan dengan selang dan dihubungkan dengan pompa.
- c. Aerator dipasang pada penutup reaktor bagian bawah.
- d. Setiap bioreaktor dilabeli sesuai dengan perlakuan yang akan diberikan (Bioreaktor I dengan medium pendukung tempurung kelapa dan Bioreaktor II dengan medium pendukung pipa PVC). Sebagai kontrol digunakan inokulum bakteri *P. putida* 10% dalam bentuk planktonik yang langsung diinokulasikan ke dalam limbah. Gambar reaktor dapat dilihat pada gambar 3.
- e. Semua aerator dan pompa dipastikan dapat bekerja dengan baik dan tidak mengalami kebocoran.
- f. Aerator diatur hingga dapat menyuplai udara sebanyak 1,5 l/menit dengan menggunakan *air flow meter*.
- g. Pompa diatur hingga dapat menyuplai sampel/medium sebanyak 2,5 l/menit dengan menggunakan *water flow meter*.



Gambar 3. Gambar reaktor untuk biosorpsi logam kromium limbah cair industri penyamakan kulit

2. Penyiapan bakteri *Pseudomonas putida*

- a. Biakan bakteri *P. putida* murni dari laboratorium Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM diinokulasikan sebanyak 2 ose ke dalam tabung reaksi berisi 10 ml medium NB, kemudian diinkubasi pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- b. Dari medium NB untuk setiap 1 koloni yang tumbuh diambil, dan dimasukkan secara aseptis ke dalam tabung reaksi yang berisi medium agar miring kemudian diinkubasi pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam,

biakan murni ini dijadikan sebagai kultur kerja. Biakan murni dibuat lebih dari 1 kultur untuk disimpan sebagai kultur stok.

- c. Biakan bakteri *P. putida* dari kultur kerja diambil sebanyak 1 ose secara aseptis dan dimasukkan ke dalam 3 buah erlenmeyer yang masing-masing berisi 10 ml medium NB, kemudian diinkubasi di atas shaker pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- d. Biakan tersebut diinokulasikan secara aseptis ke dalam 3 buah erlenmeyer yang masing-masing berisi 90 ml NB, kemudian diinkubasi di atas shaker pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 16 jam (*over night*).
- e. Setelah selesai inkubasi, dilakukan pengenceran berseri 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} hingga 10^{-8} kemudian pengenceran 10^{-7} , 10^{-8} dipipet secara aseptis sebanyak 1 ml menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam cawan petri secara aseptis, dituangkan medium agar cawan yang sudah disiapkan dengan metode cawan tuang secara aseptis, lalu digerakkan dengan gerakan seperti angka delapan, kemudian didiamkan hingga padat selanjutnya diinkubasi pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam dengan posisi terbalik. *Pseudomonas putida* yang tumbuh dihitung dengan metode cawan hitung menggunakan “*Quebec colony counter*” (Hadioetomo, 1993).
- f. Biakan bakteri *P. putida* dari kultur kerja diambil secara aseptis sebanyak 1 ose dan dimasukkan ke dalam 3 buah erlenmeyer yang masing-masing berisi 10 ml medium NB, kemudian diinkubasi di atas shaker pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.

- g. Biakan tersebut diinokulasikan secara aseptis ke dalam 3 buah erlenmeyer yang masing-masing berisi 90 ml sehingga volume inokulum masing-masing menjadi 100 ml, kemudian dishaker dan diinkubasi pada suhu $\pm 30^{\circ}\text{C}$ selama ± 16 jam (*Over Night*). Setelah 16 jam biakan diinokulasikan ke dalam bioreaktor.

3. Pembuatan Medium Pendukung

Pipa PVC dan tempurung kelapa dibersihkan bagian dalam dan luarnya, dicuci dengan air mengalir kemudian dipotong kecil-kecil dengan luas permukaan $\pm 35 \text{ cm}^2$. Masing-masing bahan sebanyak 14 buah kemudian disterilisasi dengan autoklav pada suhu 121°C selama 15 menit, selanjutnya dimasukkan ke dalam kolom bioreaktor.

4. Pembentukan Biofilm Bakteri *P. putida* (Qureshi *et al.*, 2001 dengan modifikasi)

Medium terdiri atas dua bagian. Bagian pertama terdiri atas 1,0 gr NH_4Cl ; 0,2 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 5 gr $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan 0,5 gr ekstrak khamir yang dilarutkan pada 990 ml air aquades. Bagian kedua terdiri atas 0,5 gr K_2HPO_4 dalam 10 ml aquades (dengan penambahan pH sampai 7). Kedua bagian medium tersebut diautoklav secara terpisah pada suhu 121°C selama 15 menit kemudian dicampur pada suhu kamar.

Salah satu bioreaktor diisi dengan potongan-potongan pipa PVC sedangkan yang lain dengan tempurung kelapa. Inokulum bakteri dengan konsentrasi 10% dengan jumlah bakteri $\pm 10^9$ sel/ml sebanyak 60 ml dalam 540 ml medium biofilm dituang ke dalam kolom bioreaktor. Medium dan bakteri kemudian akan bersirkulasi secara kontinyu. Inkubasi dilakukan selama 168 jam (1 minggu) untuk masing-masing bioreaktor.

5. Biosorpsi Logam

Setelah selesai inkubasi untuk pembentukan biofilm selama ± 1 minggu, limbah cair industri penyamakan kulit yang mengandung kromium sebanyak 600 ml dimasukkan ke dalam bioreaktor dan disirkulasi secara kontinyu. Pada kontrol, limbah cair langsung diinokulasi dengan bakteri *P. putida* sebanyak 10%. Pengambilan sampel dilakukan pada interval 10 menit selama 1 jam (menit ke-0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit).

6. Pengukuran Konsentrasi Logam Berat Cr

Sampel limbah cair yang sudah mengalami perlakuan diambil kemudian dipreparasi untuk mengetahui kadar logam Cr yang masih tersisa. Pengukuran kadar Cr menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry dengan nyala (flame AAS). Sampel diatomisasi pada alat atomizer melalui nyala api dengan menggunakan bahan bakar asetilen murni.

D. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

1. Pengumpulan Data

Data hasil eksperimen dikumpulkan sesuai dengan variasi medium pendukung biofilm dan waktu biosorpsi logam kromium. Pengamatan dilakukan terhadap bioreaktor dengan dua variasi medium pendukung biofilm yaitu pipa PVC dan tempurung kelapa serta bioreaktor dengan menggunakan bakteri *P. putida* dalam bentuk planktonik. Pengambilan sampel untuk pengukuran kadar kromium (Cr) dengan menggunakan metode AAS dilakukan pada interval 10 menit selama 1 jam.

Biofilm pipa PVC, biofilm tempurung kelapa, bakteri planktonik :
menit ke-0, 10, 20, 30, 40, 50, dan 60.

Persentase dan kapasitas penyerapan biofilm ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ penyerapan} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$Q = \frac{V (C_i - C_f)}{S} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

Q : kapasitas penyerapan (mg/g)

V : volume larutan (L)

C_i : konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_f : konsentrasi akhir larutan (mg/L)

S : berat adsorben (g)

(Goksungup *et.al.*, 2002; Barros Jr. *et.al.*, 2003).

Penentuan efektivitas dilihat dari persentase penyerapan kromium (Cr) dan kapasitas penyerapan logam kromium (Cr) oleh biofilm dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa.

2. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan ANOVA dan DMRT 5% untuk mengetahui perbedaan penyerapan oleh biofilm yang ditumbuhkan di medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa terhadap penurunan kadar kromium (Cr) yang terdapat dalam limbah cair industri penyamakan kulit. Selain itu juga dihitung kapasitas penyerapan oleh biofilm dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembentukan Biofilm

Biofilm merupakan sekelompok mikroorganisme, dapat terdiri dari satu atau beberapa jenis mikroorganisme yang menempel pada suatu permukaan. Biofilm akan terbentuk bila bakteri menempel pada suatu permukaan yang lembab dan mulai menghasilkan suatu cairan seperti lendir yang dapat melekatkan mikroorganisme tersebut pada permukaan benda-benda biotik seperti jaringan makhluk hidup, gigi dan lain-lain maupun benda-benda abiotik seperti logam, plastik, partikel tanah, dan lain-lain (Kraigsley and Roney, 2003; Davey and O'toole, 2000)

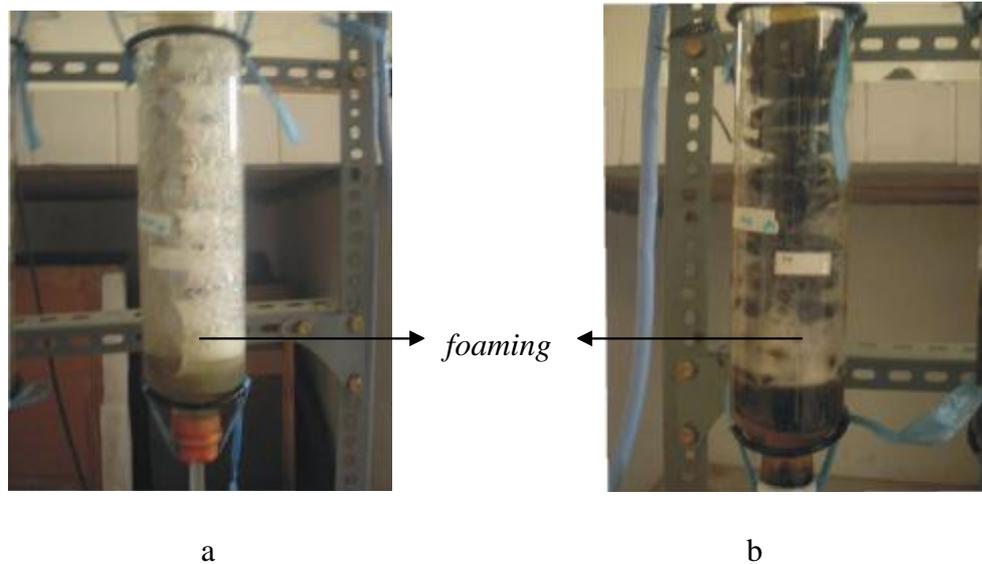
Penelitian ini menggunakan bakteri *P. putida* yang ditumbuhkan pada medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC untuk membentuk biofilm. Tempurung kelapa dipilih karena merupakan bahan yang berasal dari alam yang bersifat hidrophil, mempunyai banyak pori-pori sedangkan pipa PVC merupakan bahan sintesis dan bersifat hidrofob. Kedua bahan ini digunakan untuk mengetahui perbedaan kemampuan bahan tersebut sebagai medium pendukung terbentuknya biofilm. Selain itu juga untuk mengetahui perbedaan kemampuan biofilm dalam menurunkan kromium dari limbah cair industri penyamakan kulit.

Inokulum bakteri *P. putida* sebanyak 10% dengan jumlah bakteri $\pm 3 \cdot 10^9$ sel/ml dimasukkan ke dalam reaktor bersama dengan medium pembuatan biofilm (Qureshi *et.al.*, 2001). Medium ini akan disirkulasi secara kontinyu dengan

bantuan pompa air. Medium ini akan berfungsi sebagai penyedia nutrisi untuk bakteri selama proses pembentukan biofilm. Menurut Jamilah (2003) dan Anonim (2004), ketersediaan nutrisi yang terbatas akan mempengaruhi biofilm yang terbentuk karena nutrisi yang terbatas akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme.

Kecepatan aliran pada reaktor diatur sebesar 2,5 l/menit dengan menggunakan *water flow meter*. Kecepatan aliran diatur agar tidak terlalu deras yang dapat mengikis lapisan biofilm yang sudah terbentuk. Menurut Anonim (2004), kecepatan aliran tidak akan mencegah penempelan bakteri pada suatu permukaan tetapi akan mempengaruhi ketebalan biofilm.

Bakteri *P. putida* merupakan bakteri aerob. Suplai oksigen untuk metabolisme bakteri dengan menggunakan aerator yang dipasang pada bagian bawah reaktor dengan kecepatan aliran diatur sebesar 1,5 l/menit dengan menggunakan *air flow meter*. Sekitar 1 jam setelah medium dimasukkan, mulai terbentuk adanya gelembung gas (*foaming*). *Foaming* atau pembusaan ini terjadi karena adanya udara yang terperangkap. Semakin banyak udara atau gas yang terperangkap, maka pembusaan semakin hebat (Deputi Menristek, 2000). Kecepatan aliran aerator akan berpengaruh terhadap terbentuknya *foaming*. *Foaming* yang terjadi pada reaktor dapat dilihat pada gambar 4.

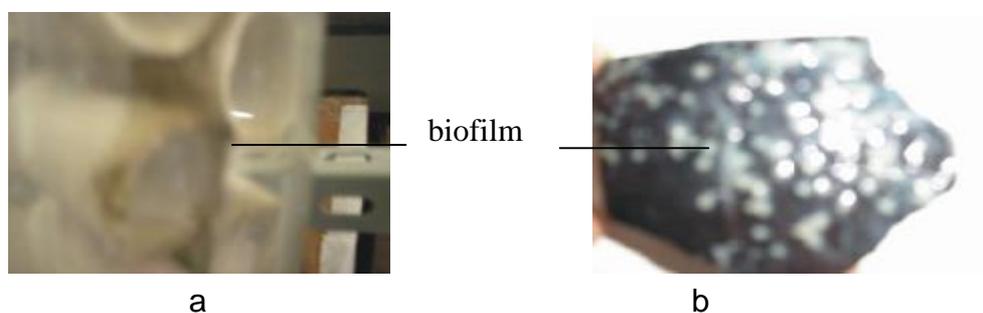


Gambar 4. *foaming* yang terjadi pada reaktor dengan medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa.

Terbentuknya *foaming* juga dimungkinkan karena *P. putida* mampu menghasilkan surfaktan yaitu suatu senyawa organik ampifilik yang mempunyai ekor bersifat hidrofob dan kepala bersifat hidrofil (Wikipedia, 2007). Genus *Pseudomonas* merupakan bakteri yang umum digunakan dalam produksi biosurfaktan. Surfaktan bekerja untuk menurunkan tegangan permukaan suatu cairan. Senyawa ini umumnya digunakan untuk degradasi senyawa hidrokarbon, zat pengemulsi, detergen shampoo dan pelumas (Kresnadipayana dkk, 2006).

Setelah reaktor dijalankan \pm 24 jam, pada medium pendukung baik tempurung kelapa maupun pipa PVC mulai tampak adanya lapisan biofilm yang terbentuk meskipun masih sangat tipis. Pada medium pendukung tempurung kelapa terbentuk lapisan biofilm yang lebih jelas dan lebih tebal dibandingkan pada pipa PVC. Hal ini dikarenakan pipa PVC mempunyai permukaan yang lebih halus dibandingkan tempurung kelapa. Permukaan yang halus dapat menunda

penempelan awal bakteri, tetapi tidak mempengaruhi jumlah bakteri yang terbentuk setelah beberapa hari (Anonim, 2004). Luas permukaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan biofilm. Permukaan yang lebih kasar akan memberikan luas permukaan yang lebih besar sehingga biofilm yang terbentuk juga akan lebih banyak. Lapisan biofilm yang terbentuk pada permukaan medium pendukung dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Biofilm yang terbentuk pada medium pendukung, a. pipa PVC, b. tempurung kelapa

Biofilm terbentuk karena adanya interaksi antara bakteri dan permukaan yang ditempeli. Interaksi ini terjadi dengan adanya faktor-faktor yang meliputi kelembaban permukaan, nutrisi yang tersedia, pembentukan substansi ekstraseluler (EPS) yang terdiri dari polisakarida, faktor-faktor fisikokimia seperti interaksi muatan permukaan dan bakteri, ikatan ion, ikatan Van Der Waals, pH dan tegangan permukaan serta pengkondisian permukaan (Kraigsley and Roney, 2003). Lipopolisakarida (LPS) yang terdapat pada membran luar bakteri merupakan salah satu komponen penting untuk penempelan awal bakteri pada suatu permukaan. Kehilangan berkas B-galaktosida pada LPS bakteri *Pseudomonas* akan mengurangi kemampuan sel untuk berinteraksi dengan permukaan benda (Davey and O'toole, 2000).

Kemampuan bakteri bergerak menggunakan flagela juga merupakan salah satu faktor penting dalam pembentukan awal biofilm. Saat sel menjadi bentuk immobil pada suatu permukaan, sel akan kehilangan flagella dan meningkatkan produksi EPS. Bentuk gerakan bakteri yang lain dikenal sebagai gerakan “twitching” tergantung pada pemanjangan dan pengerutan pili. Tidak seperti gerakan flagela, gerakan “twitching” hanya terjadi bila sel menempel pada suatu permukaan dan bakteri melintasi permukaan tersebut. Gerakan ini penting untuk pembentukan mikrokoloni dan penyebaran komunitas biofilm (Kraigsley and Roney, 2003).

Proses pembentukan biofilm dilanjutkan sampai biofilm berumur 1 minggu. Hal ini berdasarkan hasil penelitian Setyaningsih (2006) menggunakan biofilm bakteri *P. aeruginosa* dengan medium pendukung tempurung kelapa umur 1 minggu dan 2 minggu. Masing-masing biofilm ini kemudian digunakan untuk biosorpsi logam Cu murni terlarut dalam air. Dari hasil penelitian ini didapatkan persentase penyerapan logam yang oleh biofilm umur 1 minggu sebesar 78,79%, sedangkan biofilm umur 2 minggu mempunyai persentase penyerapan sebesar 53,10% dengan waktu biosorpsi selama 1 jam.

Kemampuan biofilm umur 2 minggu dalam menyerap logam lebih kecil dibandingkan biofilm umur 1 minggu antara lain dapat dikarenakan ketersediaan nutrisi yang semakin terbatas. Tidak seperti di alam, dalam penelitian ini nutrisi hanya berasal dari medium pembentukan biofilm yang dituang bersama dengan inokulum bakteri ke dalam reaktor. Menurut Costerton et.al (1995) dalam Jamilah (2004), sel anak biofilm dapat terlepas dan membentuk biofilm baru jika kondisi

nutrisi mencukupi. Setelah reaktor dijalankan, tidak ada tambahan nutrisi dari luar. Bakteri terus mengalami pertumbuhan dan membentuk biofilm pada permukaan medium pendukung. Karena tidak adanya suplai nutrisi dari luar, nutrisi yang terdapat dalam reaktor lama-kelamaan habis digunakan untuk pertumbuhan bakteri dan pembentukan biofilm. Semakin lama waktu yang digunakan dalam proses pembentukan biofilm, nutrisi yang terdapat dalam reaktor juga semakin sedikit sehingga bakteri tidak dapat meneruskan pertumbuhannya. Akibatnya biofilm juga tidak dapat terbentuk lagi. Apabila nutrisi benar-benar habis, biofilm tidak dapat lagi mengadakan pertumbuhan karena tidak adanya suplai nutrisi untuk mendukung pertumbuhan bakteri sehingga tidak dapat digunakan untuk proses biosorpsi logam dari suatu limbah cair secara optimal.

Proses pembentukan biofilm yang lebih lama juga dapat mempengaruhi ketebalan biofilm apabila tersedia cukup nutrisi untuk pertumbuhannya. Apabila kondisi nutrisi tercukupi, pada biofilm umur 2 minggu seharusnya mempunyai lapisan biofilm yang lebih tebal dibandingkan biofilm umur 1 minggu. Sifat sel yang terselubung dalam matrik akan dapat berubah sejalan dengan perubahan ketebalan biofilm. Sel bakteri pada permukaan biofilm cenderung berbeda dari sel yang terdapat di dalam matrik biofilm. Sel pada permukaan merupakan sel biofilm muda yang aktif secara metabolisme, yang akan membelah dan meningkatkan ketebalan biofilm. Oksigen yang tersedia untuk sel di dalam matrik lebih sedikit, oleh karena itu bentuk selnya juga lebih kecil dan tumbuh dengan lambat. Bakteri akan menjadi sedikit dorman, dan akan menjadi aktif kembali bila lapisan luarnya dibunuh (Jamilah, 2003).

Menurut Jamilah dkk (2004), Anonim (2004) serta Davey dan O'Toole (2000), perkembangan sel mikroorganisme menjadi biofilm terjadi dalam beberapa tahap :

1. Kondisi permukaan

Saat bahan mengadakan kontak dengan air, molekul organik akan menempel pada permukaan benda. Molekul organik ini akan menetralkan muatan pada permukaan benda sehingga bakteri dapat menempel.

2. Pelekatan bakteri perintis pada permukaan benda

Bakteri planktonik akan saling menempel dengan gaya elektrostatis dan gaya fisika. Beberapa sel akan menempel pada permukaan secara permanen dengan suatu polimer yang lengket atau substansi ekstraseluler (EPS). Sel mulai tumbuh dan menyebar sebagai suatu lapisan pada permukaan membentuk mikrokoloni.

3. Pembentukan lendir

Substansi ekstraseluler (EPS) terdiri dari gugus polisakarida yang akan melekatkan sel pada suatu permukaan dan juga bertindak sebagai penukar ion untuk menarik dan mengakumulasi nutrisi yang terdapat pada perairan. Sel kemudian membelah diri untuk menghasilkan sel anak

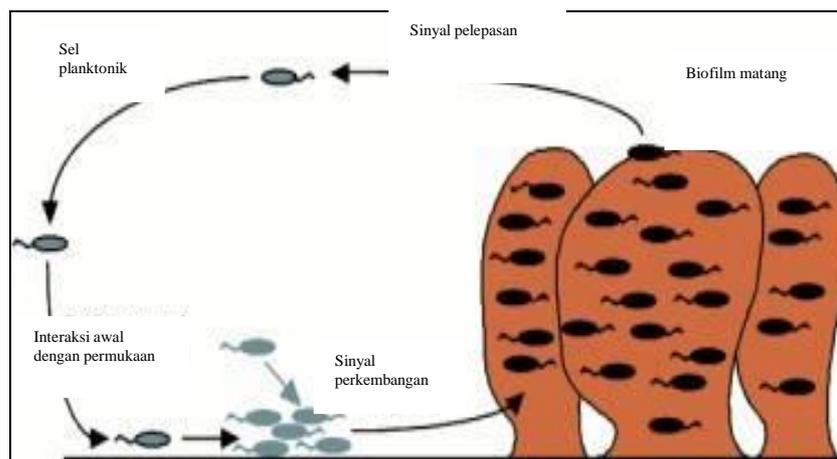
4. Kolonisasi sekunder

Sel anak akan terlepas dari matrik biofilm, kemudian akan mengkoloni permukaan dan membentuk koloni biofilm baru jika kondisi nutrisi mencukupi.

5. Biofilm matang

Selama pembentukan mikrokoloni, perubahan perkembangan sel memberikan arsitektur yang kompleks pada biofilm yang telah matang. Salah satu tanda biofilm yang telah matang adalah dihasilkannya EPS. Waktu yang diperlukan untuk membentuk biofilm matang dapat terjadi selama beberapa jam sampai beberapa minggu.

Saat biofilm berkembang, dapat terjadi beberapa kemungkinan. Biofilm akan menyebar ke area yang belum terbentuk lapisan biofilm bila kondisi lingkungan memungkinkan, atau sel akan terlepas dari biofilm dan kembali ke bentuk planktonik. Sel planktonik ini kemudian akan mengulangi siklus dengan menginfeksi permukaan baru. Siklus terbentuknya biofilm dapat dilihat pada gambar 6 (O'Toole et al., 2000; Kraigsley and Roney, 2003).



Gambar 6. Siklus terbentuknya biofilm (Kraigsley and Roney, 2003).

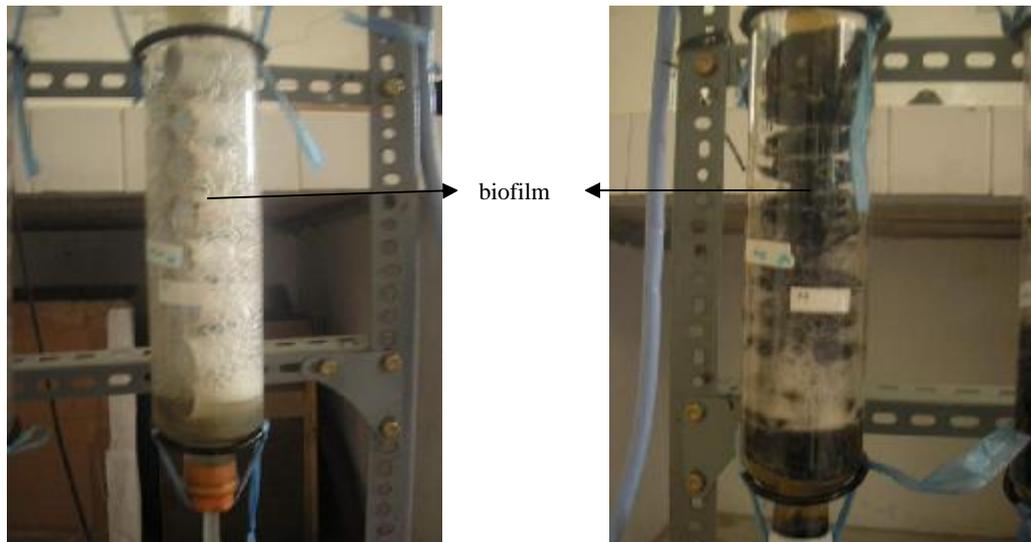
B. Biosorpsi Logam Cr Menggunakan Biofilm

Biofilm berkembang pada permukaan yang berair/lembab, baik permukaan biotik (tanaman air, binatang) maupun abiotik (batu, plastik, stainless stel, pipa PVC, dan lain-lain) (Jamilah dkk, 2004). Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan yang bersifat hidrofil yang dapat digunakan sebagai medium pendukung terbentuknya biofilm. Berdasarkan penelitian Pedersen (1990) dalam Switzenbaum *et.al.* (1985) menggunakan bahan stainless steel yang bersifat hidrofil dan PVC yang bersifat hidrofob, menunjukkan bahwa perbedaan kedua medium pendukung tidak banyak mempengaruhi biofilm yang terbentuk, tetapi lebih ditentukan oleh luas permukaannya. Kedua bahan ini merupakan bahan sintetis, sedangkan tempurung kelapa berasal dari material hidup sehingga diharapkan perbedaan bahan akan memberikan pengaruh terhadap perkembangan biofilm.

Tempurung kelapa terdiri atas susunan sel-sel dan rongga antar sel. Adanya sel dan rongga antar sel ini memungkinkan tempurung dapat mengikat air dengan baik sehingga memberikan lingkungan yang mendukung terbentuknya biofilm. Hal ini menyebabkan tempurung kelapa lebih mudah menyerap air sehingga mempunyai kelembaban yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan pipa PVC. Kelembaban ini sangat mendukung terbentuknya biofilm. Pipa PVC merupakan bahan sintetis sehingga tidak mempunyai susunan sel maupun rongga antar sel, bersifat hidrofob dan mempunyai permukaan yang halus. Permukaan pipa PVC yang lebih halus bila dibandingkan dengan tempurung kelapa menyebabkan penempelan awal bakteri ke permukaan pipa PVC menjadi lebih

lambat. Menurut Anonim (2004), permukaan benda seperti plastik atau PVC hanya memberikan sedikit pengaruh pada perkembangan biofilm. Mikroorganisme akan menempel pada permukaan benda-benda tersebut dengan minat yang sama. Sedangkan pada tempurung kelapa mempunyai permukaan yang lebih kasar sehingga memberikan luas permukaan yang lebih besar untuk mendukung terbentuknya biofilm. Dengan permukaan yang lebih kasar juga diharapkan agar bakteri lebih mudah menempel ke permukaan medium pendukung sehingga biofilm lebih mudah terbentuk.

Biofilm yang terdapat pada permukaan tempurung kelapa lebih tebal dan lebih banyak dibandingkan dengan biofilm pada medium pendukung pipa PVC. Hal ini dapat terlihat dari warna biofilm yang dihasilkan. Pada medium pendukung tempurung kelapa, warna biofilm kelihatan coklat sedangkan pada medium pendukung pipa PVC berwarna putih kecoklatan. Dari hasil pengukuran berat biofilm juga didapatkan bahwa berat biofilm pada medium pendukung tempurung kelapa lebih besar yaitu 1,630 gram. Sedangkan pada medium pendukung pipa PVC hanya 0,645 gram. Ketebalan biofilm pada medium pendukung dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Ketebalan biofilm yang terbentuk pada medium pendukung pipa PVC dan tempurung kelapa

Unsur utama penyusun tempurung kelapa adalah karbon (C) tetapi susunannya tidak teratur. Susunan yang tidak teratur dari karbon menyebabkan tempurung kelapa mempunyai banyak pori-pori sehingga memberikan porositas yang besar. Berdasarkan hasil penelitian Cunningham (1991), ketebalan biofilm meningkat apabila porositas meningkat, jumlah pori-pori lebih banyak. Porositas tempurung kelapa lebih besar bila dibandingkan pipa PVC sehingga biofilm yang terbentuk juga lebih tebal.

Proses biosorpsi logam kromium pada limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan biofilm *P. putida* berumur 1 minggu dilakukan selama 1 jam dengan interval pengambilan sampel 10 menit. Setelah proses biosorpsi selama 1 jam, diperoleh konsentrasi kromium terserap. Selain menggunakan biofilm, digunakan juga bakteri *P. putida* dalam bentuk planktonik sebagai kontrol. Bakteri langsung diinokulasikan ke dalam limbah tanpa medium pendukung dan tanpa membentuk biofilm. Proses biosorpsi juga dilakukan selama 1 jam dengan

interval waktu pengambilan sampel 10 menit. Jumlah penurunan logam kromium oleh biofilm dan bakteri planktonik dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah penurunan Cr oleh biofilm dan bakteri planktonik *P. putida* setelah proses biosorpsi selama 1 jam (dalam satuan ppm)

Waktu biosorpsi	Jumlah penurunan Cr (ppm)		
	Bakteri planktonik	Biofilm medium pendukung PVC	Biofilm medium pendukung tempurung
0 menit	0,0000 ^a	0,0000 ^a	0,0000 ^a
10 menit	22,0223 ^e	10,5317 ^b	31,1100 ^f
20 menit	21,6963 ^e	13,8742 ^{bc}	34,3092 ^{fg}
30 menit	22,5177 ^e	12,6642 ^b	36,1265 ^g
40 menit	22,5308 ^e	16,9192 ^{cd}	46,2725 ⁱ
50 menit	24,0432 ^e	20,2317 ^{de}	40,6675 ^h
60 menit	24,3822 ^e	30,6798 ^f	44,9142 ⁱ

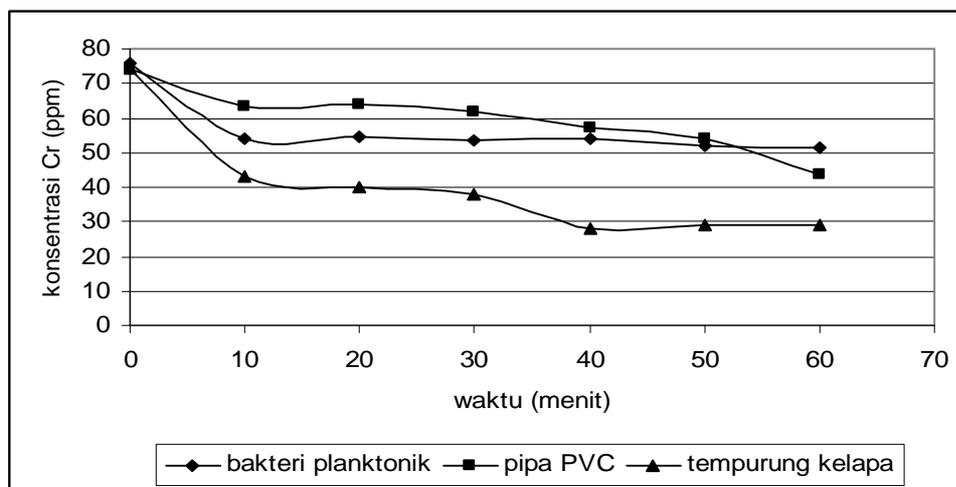
Ket : angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%

Pengolahan limbah cair dengan menggunakan biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa mempunyai kemampuan paling besar untuk menurunkan kandungan logam kromium. Setelah proses biosorpsi selama 1 jam, jumlah penurunan logam kromium mencapai 44,9142 ppm. Jumlah penurunan ini didapatkan dari selisih konsentrasi Cr sebelum perlakuan dikurangi dengan konsentrasi Cr yang tersisa setelah 1 jam adalah sebesar 29,2250 ppm dari konsentrasi awal Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit sebesar 74,1391 ppm. Sedangkan pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC mempunyai jumlah penurunan konsentrasi Cr sebesar 30,6798 ppm dan pada bakteri planktonik sebesar 24,3822 ppm.

Berdasarkan analisis statistik ANOVA dua arah dengan taraf signifikansi 5% dihasilkan bahwa perbedaan medium pendukung biofilm dan lama waktu

biosorpsi berpengaruh signifikan terhadap penurunan kandungan logam Cr yang terdapat dalam limbah. Pada umumnya seiring dengan bertambahnya waktu, persentase penyerapan Cr juga lebih besar. Sedangkan pada perlakuan yang hanya menggunakan bakteri *P. putida* planktonik dikombinasikan dengan waktu menunjukkan penurunan jumlah Cr tidak berbeda nyata (tabel 1, lampiran halaman 59).

Gambar 8 menunjukkan konsentrasi Cr yang terdapat dalam limbah cair setelah proses biosorpsi menggunakan biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC serta bakteri planktonik. Pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa mempunyai konsentrasi Cr tersisa paling sedikit bila dibandingkan biofilm dengan medium pendukung pipa PVC maupun dengan bakteri planktonik. Konsentrasi Cr tersisa pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa setelah proses biosorpsi selama 1 jam adalah sebesar 29,2250 ppm dan pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC sebesar 43,4567 ppm. Sedangkan pada bakteri planktonik *P. putida* adalah sebesar 51,6777 ppm.



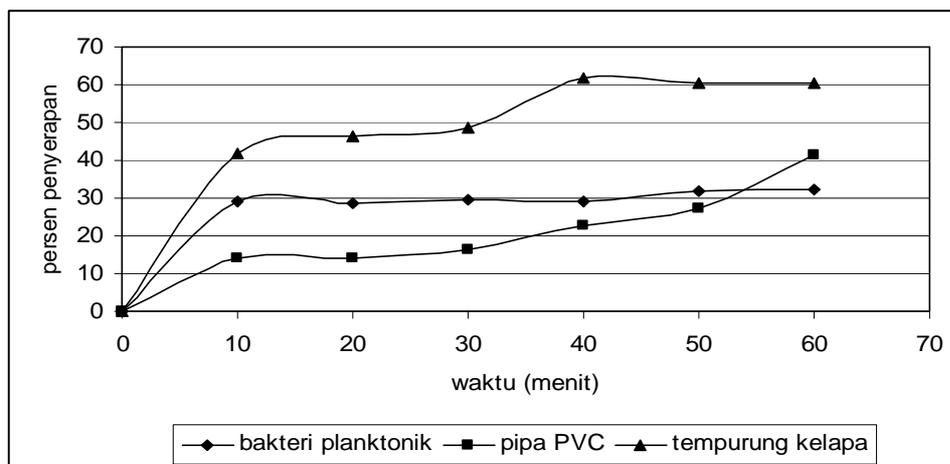
Gambar 8. Penurunan konsentrasi kromium yang terdapat di dalam limbah cair setelah penyerapan oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC serta bakteri planktonik *P. putida* sebagai kontrol.

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa konsentrasi Cr yang terdapat pada limbah cair setelah perlakuan dengan bakteri planktonik *P. putida* menunjukkan nilai yang hampir konstan. Penurunan Cr yang cukup besar hanya terjadi pada 10 menit pertama, sedangkan interval 10 menit berikutnya menunjukkan konsentrasi Cr yang hampir sama. Hal ini dikarenakan kepadatan populasi yang rendah dari *P. putida*. Menurut Jamilah (2003), kepadatan populasi rendah adalah karakteristik yang umum dari komunitas planktonik pada ekosistem mikroorganisme di alam. Jika kepadatan populasi rendah, kompetisi antara bakteri secara individu untuk ruang, oksigen, serta faktor-faktor pembatas lainnya hanya sedikit. Pada keadaan planktonik, kesempatan bagi individu untuk terpisah dari komunitas relatif besar khususnya oleh arus air. Akibatnya tingkat kemampuan bertahan hidup dalam kondisi ekstrem misalnya di lingkungan yang tercemar logam berat cenderung rendah.

Reaktor biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa mempunyai konsentrasi Cr akhir sebesar 29,2250 ppm setelah proses biosorpsi selama 1 jam. Pada menit ke-50, konsentrasi Cr mengalami kenaikan tetapi pada menit ke-60 mengalami penurunan kembali. Kenaikan kembali konsentrasi Cr dapat disebabkan karena biofilm belum stabil dalam melakukan adsorpsi terhadap logam Cr dan penyerapan hanya terjadi di bagian permukaan sehingga dapat dimungkinkan logam terlepas kembali. Setelah biofilm stabil, biofilm dapat menyerap logam dengan baik dan cenderung konstan.

Biofilm dengan medium pendukung pipa PVC mempunyai konsentrasi akhir Cr sebesar 43,4567 ppm. Pada menit ke-20 dan 30, konsentrasi Cr pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC hampir sama. Pada menit ke-40 dan selanjutnya terus mengalami penurunan. Hal ini dimungkinkan karena biofilm terbentuk lebih lambat bila dibandingkan dengan medium pendukung tempurung kelapa sehingga proses biosorpsi yang terjadi juga lebih lambat.

Gambar 9 menunjukkan persentase penyerapan logam kromium setelah perlakuan dengan biofilm *P. putida* menggunakan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC serta pengolahan limbah dengan menggunakan bakteri planktonik *P. putida* dengan interval pengambilan sampel 10 menit selama 1 jam. Biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa mempunyai persentase penyerapan sebesar 60,5787% di menit ke-60.



Gambar 9. Persentase penyerapan logam kromium oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC serta bakteri *P. putida* sebagai kontrol.

Pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa, konsentrasi logam langsung mengalami penurunan yang cukup signifikan pada menit ke-10 dengan persentase penyerapan sebesar 41,9557%. Pada menit-menit berikutnya juga senantiasa menunjukkan angka yang lebih besar bila dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Pada menit-menit awal, persentase penyerapan Cr oleh bakteri *P. putida* dalam bentuk planktonik lebih besar bila dibandingkan dengan biofilm yang menggunakan medium pendukung pipa PVC. Baru pada menit ke-60, biofilm dengan medium pendukung pipa PVC menunjukkan persentase penyerapan yang lebih besar bila dibandingkan bakteri planktonik. Nilai persentase penyerapan oleh *P. putida* planktonik menunjukkan angka yang hampir sama atau dapat dikatakan konstan. Kenaikan yang terjadi hanya sedikit dan tidak menunjukkan perubahan yang cukup signifikan. Sedangkan pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC menunjukkan angka yang hampir selalu naik dan pada menit ke-60 menunjukkan angka yang cukup tinggi. Hal ini kemungkinan

karena biofilm dengan medium pendukung pipa PVC baru mulai memperlihatkan aktivitas penyerapannya.

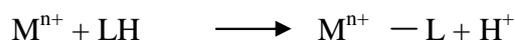
Pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC menunjukkan persentase penyerapan logam kromium setelah biosorpsi selama 1 jam adalah sebesar 41,3665%. Sedangkan pada bakteri *P. putida* planktonik persentase penyerapannya sebesar 32,0565%.

Bakteri *P. putida* dalam bentuk planktonik dapat digunakan untuk proses biosorpsi logam Cr dari limbah industri penyamakan kulit. Hal ini dikarenakan dinding selnya terdiri dari lipopolisakarida, lipoprotein, lapisan peptidoglikan, fosfolipid dan protein. Dinding sel bakteri pada pH asam menjadi bermuatan negatif dan gugus fungsional pada dinding sel tersebut akan mengikat ion-ion logam yang terlarut (Vieria dan Bolesky, 2000).

Kemampuan menurunkan kandungan Cr pada limbah cair industri penyamakan kulit yang terbesar terdapat pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa diikuti biofilm dengan medium pendukung pipa PVC dan bakteri *P. putida* dalam bentuk planktonik. Seperti halnya dinding sel bakteri *P. Putida*, *extrapolymeric substances* (EPS) yang terdapat pada biofilm juga terdiri atas polisakarida. Polisakarida ini akan mengakumulasi logam berat dan akan berikatan dengan ion-ion logam, kation valensi dua dan makromolekul lain seperti protein, lipid dan lain-lain (Donlan, 2002). Berdasarkan hasil penelitian, EPS diketahui mampu mengakumulasi logam, kation dan racun. Farag *et.al* dalam Kraigsley and Doney (2003), meneliti berbagai konsentrasi logam (Ar, Cd, Pb, Hg dan Zn) pada berbagai komponen jaring-jaring makanan (biofilm bakteri,

endapan, invertebrata dan ikan). Konsentrasi logam tertinggi senantiasa didapatkan pada biofilm bakteri. Selain itu, biofilm juga dapat menjadi suatu kunci penghubung transfer logam ke lingkungan.

Hubungan antara ion-ion logam dengan molekul organik dapat digambarkan sebagai reaksi asam basa.



Gambar 10. Reaksi asam basa

Dengan M^{n+} , sebagai ion logam atau H^+ , sebagai proton mewakili asam dan L sebagai molekul organik atau ligan mewakili basa (Geesey and Jang, 1999).

Dalam bentuk biofilm, bakteri mempunyai kemampuan yang lebih besar dalam menurunkan kandungan logam berat yang terdapat pada perairan. Hal ini antara lain disebabkan karena sel bakteri terdapat dalam matrik biofilm. Perlakuan terhadap biofilm hanya berpengaruh terhadap bagian luar biofilm, sedangkan sel bakteri di bagian dalam akan tetap hidup dan berkembang membentuk biofilm. Menurut penelitian dalam Anonim (2006), biofilm yang diberi perlakuan dengan klorinasi untuk membunuh biofilm sering tidak berhasil karena biofilm akan dengan cepat tumbuh kembali mencapai titik kesetimbangannya.

Berdasarkan kemampuan dalam menurunkan Cr dari limbah cair industri penyamakan kulit dan persentase penyerapannya, maka medium pendukung yang lebih efektif digunakan adalah tempurung kelapa karena mampu menurunkan Cr dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan medium pendukung pipa PVC.

Dari hasil pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit dengan menggunakan bakteri planktonik dan biofilm ternyata belum dapat memenuhi baku mutu karena konsentrasi Cr yang tersisa dengan menggunakan biofilm maupun bakteri planktonik masih di atas 25 ppm. Berdasarkan Peraturan daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah, kadar krom total yang boleh terdapat dalam perairan adalah 0,6 ppm. Konsentrasi akhir yang terdapat pada biofilm masih sangat tinggi sehingga masih cukup berbahaya bila dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan biofilm dan kemampuannya dalam menurunkan kandungan logam yang terdapat pada limbah industri sehingga limbah yang dibuang ke lingkungan memenuhi baku mutu.

C. Kapasitas Penyerapan Logam Cr

Jumlah logam yang diikat oleh biosorben dihitung dengan menggunakan rumus kapasitas. Dalam hal ini, biosorben dianalogikan dengan ketebalan biofilm yang terbentuk. Berat biofilm yang terbentuk diukur dari berat kering akhir kolom reaktor dengan medium pendukung setelah terbentuk biofilm dikurangi dengan berat kering awal kolom reaktor dengan medium pendukung sebelum terbentuk biofilm. Berat biofilm yang terbentuk pada medium pendukung tempurung kelapa lebih besar yaitu 1,63 gram bila dibandingkan pada pipa PVC yaitu seberat 0,645 gram. Nilai kapasitas penyerapan untuk tiap interval waktu dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kapasitas penyerapan logam kromium oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC (mg/g).

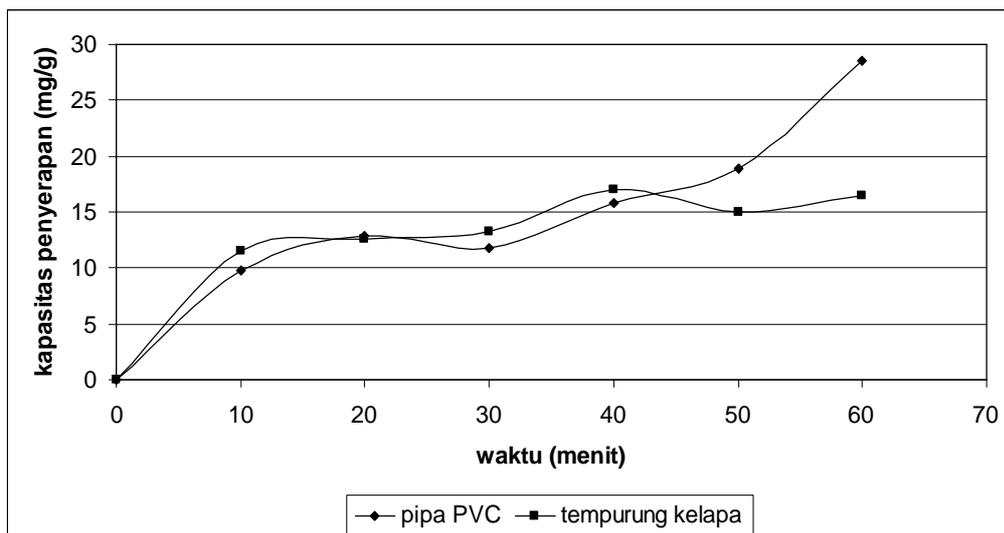
Waktu biosorpsi	Kapasitas penyerapan (mg/g)	
	Biofilm medium pendukung PVC	Biofilm medium pendukung tempurung
0 menit	0,0000 ^a	0,0000 ^a
10 menit	9,7969 ^b	11,4515 ^{bc}
20 menit	12,9062 ^{cd}	12,6291 ^{cd}
30 menit	11,7806 ^{bc}	13,2981 ^{cd}
40 menit	15,7388 ^{ef}	17,0238 ^{fg}
50 menit	18,8202 ^g	14,9696 ^{de}
60 menit	28,5394 ^h	16,5328 ^{fg}

Ket : angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%

Dari hasil uji DMRT 5% menunjukkan kapasitas penyerapan antara biofilm dengan medium tempurung kelapa berbeda nyata dengan medium pendukung pipa PVC (lampiran 4). Lama waktu biosorpsi juga berpengaruh terhadap nilai kapasitas penyerapan biofilm. Kapasitas penyerapan antara biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa dengan pipa PVC ternyata lebih besar pada pipa PVC. Hal ini dikarenakan nilai kapasitas didapatkan dari jumlah penurunan Cr dibagi dengan berat biofilm. Semakin berat biosorben (biofilm) akan semakin kecil nilai kapasitas penyerapan yang didapatkan. Biofilm terbentuk lebih dahulu pada tempurung kelapa, semakin berkembang dan bertambah tebal sehingga berat biofilmnya lebih besar. Hal ini berlawanan dengan hipotesis awal yang menyatakan bahwa jika persentase penyerapan logam besar, maka kapasitas penyerapannya juga besar. Dari hasil penelitian Barros Jr, *et.al.* (2003) dengan menggunakan biomassa *Aspergillus niger* menunjukkan bahwa konsentrasi biomassa merupakan salah satu faktor penting yang akan mempengaruhi persentase dan kapasitas penyerapan suatu logam. Apabila konsentrasi biomassa

dinaikkan, maka persentase penyerapan akan mengalami kenaikan sedangkan kapasitas penyerapan akan mengalami penurunan.

Dari hasil perhitungan kapasitas penyerapan kemudian dibuat grafik seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Kapasitas penyerapan logam kromium oleh biofilm *P. putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa dan pipa PVC.

Nilai kapasitas penyerapan kromium dari biofilm dengan medium pendukung PVC menunjukkan kenaikan dari awal hingga menit ke-60, tetapi pada menit ke-30 sedikit mengalami penurunan. Pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa cenderung naik turun. Kapasitas penyerapan kedua biofilm cenderung sama pada menit ke 20 yaitu sekitar 12 mg/g. Pada menit ke-60, kapasitas penyerapan untuk biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa dan PVC adalah 16,5328 mg/g dan 28,5394 mg/g. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa apabila persentase penyerapan Cr besar ternyata mempunyai kapasitas penyerapan yang lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Persentase penyerapan Kromium (Cr) dari limbah cair industri penyamakan kulit setelah perlakuan dengan biofilm *P. putida* dengan medium pendukung pipa PVC selama 1 jam hanya mempunyai persentase penyerapan sebesar 41,3665%, sedangkan pada medium pendukung tempurung kelapa mempunyai persentase penyerapan lebih besar yaitu 60,5787%. Pada bakteri *P. putida* planktonik mempunyai persentase penyerapan sebesar 32,0565%. Hasil pengolahan limbah cair penyamakan kulit ini ternyata belum dapat memenuhi baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit yaitu 0,6 ppm.
2. Nilai kapasitas penyerapan pada biofilm dengan medium pendukung pipa PVC ternyata lebih besar dari pada biofilm dengan medium pendukung tempurung kelapa yaitu 28,5394 mg/g. Sedangkan pada medium pendukung tempurung kelapa sebesar 16,5328 mg/g.
3. Medium pendukung biofilm yang lebih efektif digunakan untuk menurunkan kadar kromium (Cr) limbah cair industri penyamakan kulit berdasarkan persentase penyerapan adalah tempurung kelapa.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh dalam pembentukan biofilm *P. putida* untuk menurunkan kandungan logam Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit sehingga dapat memenuhi baku mutu.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perbedaan penggunaan medium pendukung yang berbeda untuk menumbuhkan biofilm.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N, T. V Ramachandra and R. D Kanamadi. 2004. *Biosorption of Heavy Metals*. India : Indian Institutes of Science.
- Alaerts, G dan S. S. Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Jakarta : Usaha Nasional.
- Anonim. 2005. *Biochemical Engineering*. NgeeAnn School of Life Sciences and Chemical Technology. www.np.edu.sg/bio/biochemical_engineering [4 Mei 2006].
- _____. 2006. *Biofilm, Key to Understanding and Controlling bacterial Growth in Automated Drinking Water Systems*. USA : Edstrom industries, Inc.
- _____. 2006. Filter Kimia. www.o-fish.com/filter/filter_kimia.php [5 Mei 2007].
- Barbier, O, G. Jacquillet, M. Tauc, M. Cougnon and P. Poujeol. 2005. Effect of Heavy Metals on, and Handling by, the Kidney. *Nephron Physiol.* 99(4): 105-110.
- Barros Jr, L.M, G.R. Macedo, M.M.L. Duarto, E.P. Silva, A.K.C.L. Lobarto.2003. Biosorption of Cadmium Using The Fungus *Aspergillus niger*. *Brazc.J.Chem.Eng.* 20 (3).
- Chatterjee, D.K and P. Shatt. 1987. Expression of Degradative Genes of *Pseudomonas putida* in *Caulobacter crecentus*. *Journal of Bacteriol.* 169 : 2962-2966.
- Clay, M.K, B.G. Fox and R.J. Steffan. 1996. Chloroform Mineralization by Tolueneoxidizing Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 1 : 2716-2722.
- Cunningham, A.B., W.G. Characklis, F. Abedeen and D. Crawford. 1991. Influence of Biofilm Accumulation on Porous Media Hydrodynamics. *Environmental Science and Technology.* 25 (7).
- Davey, M.E and G.A. O'toole. 2000. Microbial Biofilms : from Ecology to Molecular Genetics. *Microbiol Mol Biol Rev.* 64(4) : 847-867.
- Departemen Perindustrian. 1989. *Laporan Penelitian Tentang Pembuatan Pola Penanganan Limbah Industri Penyamakan Kulit*. Yogyakarta
- Department of Bacteriology. 2004. *Todar's Online Textbook of Bacteriology : Pseudomonas aeruginosa*. Wisconsin : Kenneth Todar University of

- Wisconsin. [http : textbookofbacteriology.net/pseudomonas.html](http://textbookofbacteriology.net/pseudomonas.html). [20 April 2006].
- Dephut. 2004. Pengolahan Limbah Cair. www.dephut.go.id/INFORMASI. [2 April 2007].
- Deputi Menristek. 2005. Tanaman Perkebunan. www.ristek.go.id. [2 April 2007].
- Dix, H.M. 1981. *Environmental Pollution* . New York : John Willey and Sons.
- Djuangsih, N. Benito dan H. Salim. 1982. *Aspek Toksikologi Lingkungan*. Bandung : Lembaga Ekologi Universitas Padjadjaran.
- Donnel, A.G.O and Fellow. 1994. *Handbook of New Bacterial Systematics*. London : Academic press. Harcourt Brace and company.
- Donlan, R. M. 2002. Biofilms : Microbial Life on Surfaces. *Emerg Infect Dis* 8(9) : 1-19
- Dwidjoseputro. 1983. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta : Penerbit Djambatan.
- Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition of Plant Principle and Perspective*. Bombay : Wiley esten Ltd.
- Gibson, D.T. 1984. *Microbial Degradation of Organik Compound*. New York : Marcel Dekker Inc.
- Goksungup, Y., S. Uren and U. Guvenc. 2002. Biosorption of Copper Ions by Caustic Treated Waste Baker's Yeast. *Biomass Applied for Engineering*.
- Gorman, S. P, J. G McGovern, A. D Woolfson, C. G Adair and D. S Jones. 2001. The Concomitant Development of Poly(vinyl chloride)-related Biofilm and Antimicrobial Resistance in Relation to Ventilator-associated *Pneumonia*. *Biomaterials*. 22(20):2741-2747.
- Hadioetomo, R. S. 1993. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek, Teknik dan Prosedur Dasar Laboratorium*. Jakarta : Gramedia.
- Harwood *et.al*. 1989. *J. Bacteriol*. 171 : 4063-4066. University of California. http://genome.jgi.psf.org/draft_microbes/psepu/psepu.home.html.
- Hussein, H, S. H Ibrahim, K. Kandeel and H. Moawad. 2004. Biosorption of Heavy Metals from Waste Water Using *Pseudomonas* sp. *Electronic Journal of Biotechnology*. vol. 7 (1).

- Iglewski, B. H and D. E. Woods. 2005. Toxins of *Pseudomonas aeruginosa* : New Perspectives. *Rev. Infect. Dis. Suppl.* 5 : S715.
- Jamilah, I. T, N. Priyani dan K. Nurcahya. 2004. *Pemeriksaan Biofilm pada Alat Pengolahan Makanan Laut di Beberapa Tahap Pemrosesan*. Medan : FMIPA USU.
- Jamilah, I. T. 2003. *Biofilm sebagai Mikrolingkungan Bakteri yang Unik : Seberapa Jauh Kita Mengenalnya?*. Bogor : Program Pasca Sarjana IPB.
- Jenie, B.S.L dan W.P. Rahayu. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Yogyakarta : Kanisius.
- Kartodiwiryo, S. 2006. *Aplikasi Mikroorganisme Jamur dalam Pengolahan Limbah Industri*. Disampaikan pada Seminar Nasional Bioteknologi dan Kelestarian Lingkungan. UNS.
- Kebamoto. 2004. *Potensi Industri dan Teknologi Pengolahannya*. Jakarta : FMIPA UI. The Mochtar Riady Center for Nanotechnology and Bioengineering.
- Kraigsley, A and P. D. Roney. 2003. *Hydrodynamic Influences on Biofilm Formation and Growth*. Los Angeles : University of Southern California.
- Kresnadipayana, D, V. Suryanti dan S. Hastuti. 2006. *Produksi Biosurfaktan secara Biotransformasi Menggunakan Minyak Jagung sebagai Sumber Karbon Tambahan oleh *Pseudomonas aeruginosa**. Surakarta : Jurusan Kimia F MIPA UNS. Skripsi
- Lu, F. C. 1995. *Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran dan Penilaian Risiko*. Jakarta : UI Press.
- Mahida, U.N. 1986. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri* . Jakarta : CV Rajawali.
- Majid, A. A. 2004. *Kromium*. Malaysia.www.elsevier.com
- Mardiyono. 2005. Reduksi Cr (VI) Limbah Cair Industri tekstil oleh Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, dan *Klebsiella pneumonia*. Tesis. Program Studi Ilmu Lingkungan. PPs. UNS.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta
- PERDA Propinsi Jawa Tengah No. 10 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah

- Potter, C., M. Suparwadi dan A. Gani. 1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.
- Qureshi, F M, U. Badar and N. Ahmed. 2001. Biosorption of Copper by a Bacterial Biofilm on a Flexible Polyvinyl Chloride Conduit. *Appl. Environ. Microbiol.* 67 (9) : 4349-4352.
- Sajidan. 2006. *Bioteknologi dan Penanganan Pencemaran Lingkungan*. Disampaikan pada Seminar Nasional Bioteknologi dan Kelestarian Lingkungan. UNS.
- Setyaningsih, R. 2006. *Penurunan Kandungan Tembaga Terlarut dalam Air Menggunakan Biofilm Bakteri P. aeruginosa dengan Medium Pendukung Tempurung Kelapa*. Laporan Penelitian Dosen Muda. Surakarta : UNS.
- Stevens, M.P. 2001. *Kimia Polimer*. Alih Bahasa : Sopyan, I. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Stewart, P. 2005. *A Friendly Guide to Biofilm Basics and the Center for Biofilm Engineering*. www.biofilm.org [2 Mei 2006].
- Suchomel, B.J, B.M. Chen and M.B. Allen. 1998. Network Model of Flow, Transport and Biofilm Effects in Porous Media. *Springer Netherlands*. 30 (1).
- Suendra, N., S. Rahayu, Soemini dan T. Suprijo. 1991. *Mikrobiologi Lingkungan*. Jakarta : Pusat Pendidikan Kesehatan Departemen Kesehatan.
- Suhendrayatna. 2001. Biosorpsi Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme : suatu Kajian Kepustakaan (*heavy Metal Biosorpsi by Microorganisms : A Literatur Study*). Disampaikan pada Seminar *on-Bioteknologi* untuk Indonesia abad 21, 1-14 Februari 2001. *Synergy Forum-Institute of Technology*. PI Tokyo.
- Switzenbaum, M.S., K.C. Scheuer and K.E. Kallmeyer. 1985. Influence of Materials and Precoating on Initial Anaerobic Biofilm Development. *Biotechnology Letters*. 7 (8).
- Tandjung, S.D.1983. *Penentuan Toksisitas suatu Bahan Pencemar di Lingkungan Perairan*. Kursus Dampak Lingkungan I. Yogyakarta : Pusat Penelitian dan Studi Lingkungan UGM.
- Teitzel, G. M and M. R Parsek. 2003. Heavy Metal Resistance of Biofilm and Planctonic *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(4) : 2313-2320.

- Vieria, R.H.S.E and B. Volesky. 2000. Biosorption : a Solution to Pollution ?. *Internatl Microbiol.* 3 : 17-24.
- Wahyuningsih, T. 2004. *Evaluasi Viabilitas Bakteri Asal limbah Cair Industri Tekstil dalam Media yang Mengandung Logam Berat Chromium.* Surakarta : Skripsi S1 Pendidikan Biologi FKIP UNS.
- Wibowo, M.E. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik dengan Aerasi dan Penambahan Bakteri Pseudomonas putida.* Surakarta : Jurusan Biologi F MIPA UNS. Skripsi
- Wiyanto, E. 1992. *Evaluasi Kandungan Cr pada Penanganan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit PT. Budi Makmur Jaya Murni.* Yogyakarta : PAU UGM.
- Zen, M.T. 1982. *Menuju Kelestarian Lingkungan Hidup.* Jakarta : PT Gramedia.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Baku Mutu Limbah Industri Penyamakan Kulit

Tabel 3. Baku Mutu Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit, berlaku bagi industri baru yang diperluas dan bagi semua industri.

Parameter	Proses Penyamakan Menggunakan Krom	
	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
BOD ₅	50,00	2,00
COD	110,00	4,40
TSS	60,00	2,40
Krom Total	0,60	0,024
Minyak dan Lemak	0,50	0,20
N total	10,00	0,40
Amonia Total	0,50	0,02
Sulfida	0,80	0,032

pH : 6,0-9,0; Debit limbah cair maksimum 40 m³/ton bahan baku kulit

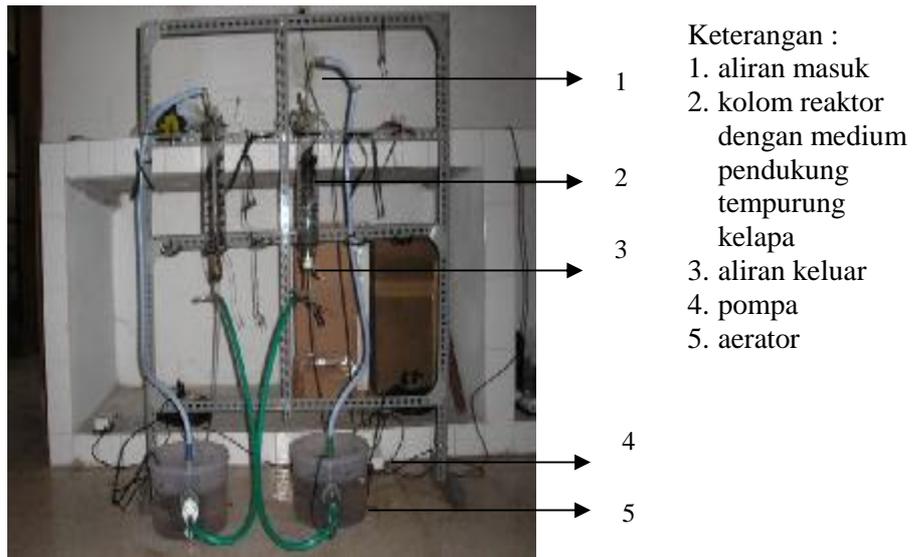
Kadar maksimum adalah batas konsentrasi bahan pencemar yang boleh terdapat dalam tiap liter air limbah dengan satuan mg parameter/L air limbah.

Beban pencemaran maksimum adalah batas konsentrasi bahan pencemar yang boleh terdapat dalam tiap ton bahan baku kulit dengan satuan kg parameter/ton bahan baku kulit.

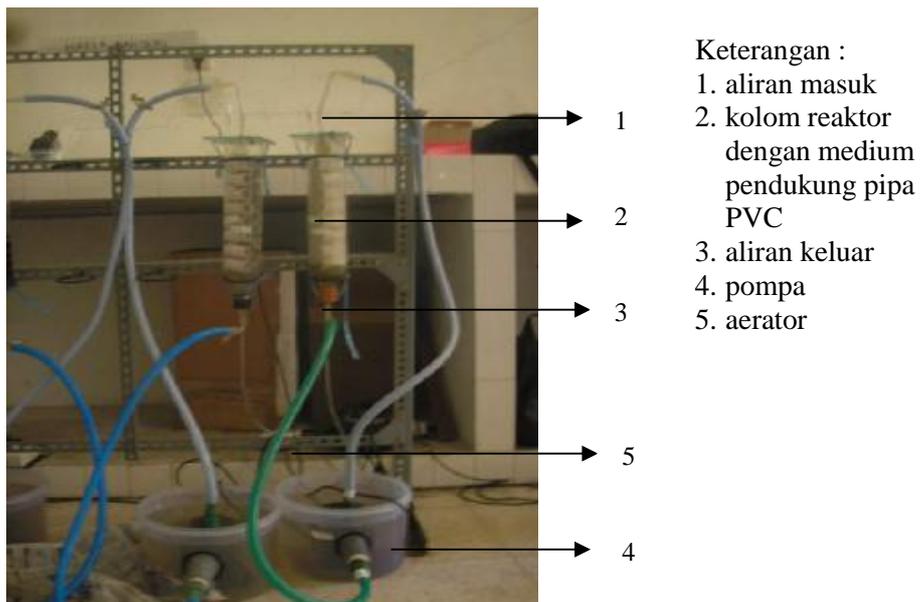
Sumber : PERDA Propinsi Jawa Tengah No. 10 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah

Lampiran 2

Foto Reaktor



Gambar 12. Foto reaktor dengan medium pendukung tempurung kelapa



Gambar 13. Foto reaktor dengan medium pendukung pipa PVC

Lampiran 3

Perhitungan Persentase penyerapan Cr

Persentase adsorpsi/persentase penyerapan

$$\text{Rumus} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100\%$$

Keterangan :

C_i : konsentrasi awal larutan

C_f : konsentrasi yang terukur dalam interval waktu pengukuran

Contoh perhitungan

C_i : 7,6443 ppm

C_f : 49,8003 ppm

$$\begin{aligned} \text{Persentase adsorpsi} &= \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100\% \\ &= \frac{(76,443 - 49,8003)}{76,443} \times 100\% \\ &= 34,853\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel Lampiran.

Tabel 4. Pengolahan limbah cair yang mengandung kromium dengan menggunakan bakteri *P. putida*

Waktu	Konsentrasi Cr (ppm)	Jumlah penurunan Cr (ppm)	% penyerapan
0	75,79900	0,0000	0,0000
	75,79900	0,0000	0,0000
	76,58150	0,0000	0,0000
10	54,40250	21,3965	28,2279
	53,81600	21,9830	29,0017
	53,89400	22,6875	29,6253
20	54,95000	20,8490	27,5056
	54,48100	21,3180	28,1244
	53,65950	22,9220	29,9315
30	53,11200	22,6870	29,9305
	53,65950	22,1395	29,2082
	53,85500	22,7265	29,6762
40	53,89400	21,9050	28,8988
	53,11200	22,6870	29,9305
	53,58100	23,0005	30,0340
50	51,66450	24,1345	31,8401
	52,29050	23,5085	31,0143
	52,09500	24,4865	31,9744
60	51,43000	24,3690	32,1495
	51,58650	24,2125	31,9430
	52,01650	24,5650	32,0769

Tabel 5. Pengolahan limbah cair yang mengandung kromium menggunakan biofilm *P. putida* dengan medium pendukung pipa PVC.

Waktu	Konsentrasi Cr (ppm)	Jumlah penurunan Cr (ppm)	% penyerapan
0	75,56750	0,0000	0,0000
	74,02000	0,0000	0,0000
	72,83000	0,0000	0,0000
10	63,31000	12,2575	16,2206
	63,84500	10,1750	13,7463
	63,66750	9,1625	12,5807
20	62,83250	12,7350	16,8525
	54,35500	19,6650	26,5671
	63,60750	9,2225	12,6631
30	60,18750	15,3800	20,3527
	62,23750	11,7825	15,9180
	62,00000	10,8300	14,8702
40	57,53750	18,0300	23,8595
	57,47750	16,5425	22,3487
	56,64500	16,1850	22,2230
50	53,37250	22,1950	29,3711
	53,90750	20,1125	27,1717
	54,44250	18,3875	25,2472
60	43,55500	32,0120	42,3621
	43,02000	30,9925	41,8704
	43,79500	29,0350	39,8668

Tabel 6. Pengolahan limbah cair yang mengandung kromium menggunakan biofilm *P. putida* dengan medium pendukung tempurung kelapa.

Waktu	Konsentrasi Cr (ppm)	Jumlah penurunan Cr (ppm)	% penyerapan
0	75,56750	0,0000	0,0000
	74,02000	0,0000	0,0000
	72,83000	0,0000	0,0000
10	43,19750	32,3700	42,8359
	43,64500	30,3750	41,0362
	42,24500	30,5850	41,9951
20	40,11250	35,4550	45,5950
	39,86750	34,1525	46,1396
	39,51000	33,3200	45,7504
30	38,61750	36,9500	48,8967
	37,72500	36,2945	49,0334
	37,69500	35,1350	48,2425
40	28,23250	47,3350	62,6394
	28,53250	45,4875	61,4530
	26,83500	45,9950	63,1539
50	30,46500	45,1025	59,6851
	29,57250	44,4475	60,0480
	40,37750	32,4525	44,5593
60	29,24500	46,3225	61,2995
	30,10750	43,9125	59,3252
	28,32250	44,5075	61,1115

Lampiran 4
Uji Statistik Jumlah Penurunan Kadar kromium (Cr)

General Linear Model

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
waktu	0	0 menit	9
sampling	1	10 menit	9
	2	20 menit	9
	3	30 menit	9
	4	40 menit	9
	5	50 menit	9
	6	60 menit	9
jenis	0	kontrol	21
perlakuan	1	tempurung	21
	2	pipa PVC	21

Descriptive Statistics

	waktu sampling	jenis perlakuan	Mean	Std. Deviation	N
konsentrasi Cr dlm limbah	0 menit	kontrol	76,059833	,4517766	3
		tempurung	74,139167	1,3726351	3
		pipa PVC	74,139167	1,3726351	3
		Total	74,779389	1,3839542	9
	10 menit	kontrol	54,037500	,3184961	3
		tempurung	43,029167	,7150189	3
		pipa PVC	63,607500	,2725000	3
		Total	53,558056	8,9275557	9
	20 menit	kontrol	54,363500	,6532245	3
		tempurung	39,830000	,3029955	3
		pipa PVC	60,265000	5,1328580	3
		Total	51,486167	9,4694841	9
	30 menit	kontrol	53,542167	,3851462	3
		tempurung	38,012500	,5241600	3
		pipa PVC	61,475000	1,1213134	3
		Total	51,009889	10,3558667	9
	40 menit	kontrol	53,529000	,3935848	3
		tempurung	27,866667	,9059537	3
		pipa PVC	57,220000	,4988675	3
		Total	46,205222	13,8575163	9
	50 menit	kontrol	52,016667	,3202672	3
		tempurung	33,471667	5,9972527	3
		pipa PVC	53,907500	,5350000	3
		Total	46,465278	10,2336897	9
	60 menit	kontrol	51,677667	,3036924	3
		tempurung	29,225000	,8926681	3
		pipa PVC	43,456667	,3967472	3
Total		41,453111	9,8510177	9	
Total	kontrol	56,460905	8,2609555	21	
	tempurung	40,796310	15,0351294	21	
	pipa PVC	59,152976	9,0734690	21	
	Total	52,136730	13,7134763	63	
jumlah penurunan cr dlm limbah	0 menit	kontrol	,000000	,0000000	3
		tempurung	,000000	,0000000	3
		pipa PVC	,000000	,0000000	3
		Total	,000000	,0000000	9
	10 menit	kontrol	22,022333	,6463982	3
		tempurung	31,110000	1,0962322	3
		pipa PVC	10,531667	1,5780255	3
		Total	21,221333	8,9882447	9
	20 menit	kontrol	21,696333	1,0870530	3
		tempurung	34,309167	1,0760876	3
		pipa PVC	13,874167	5,3136360	3
		Total	23,293222	9,3475119	9
	30 menit	kontrol	22,517667	,3280969	3
		tempurung	36,126500	,9190888	3
		pipa PVC	12,664167	2,3997140	3
		Total	23,769444	10,2846663	9
	40 menit	kontrol	22,530833	,5641995	3
		tempurung	46,272500	,9544992	3
		pipa PVC	16,919167	,9784756	3
		Total	28,574167	13,5145723	9
	50 menit	kontrol	24,043167	,4953558	3
		tempurung	40,667500	7,1219327	3
		pipa PVC	20,231667	1,9065452	3
		Total	28,314111	10,1101663	9
	60 menit	kontrol	24,382167	,1766185	3
		tempurung	44,914167	1,2554116	3
		pipa PVC	30,679833	1,5129285	3
Total		33,325389	9,1626435	9	
Total	kontrol	19,598929	8,2674399	21	
	tempurung	33,342833	15,0884613	21	
	pipa PVC	14,985810	9,1447427	21	
	Total	22,642524	13,5734939	63	
persentase penyerapan Cr oleh biofilm	0 menit	kontrol	,000000	,0000000	3
		tempurung	,000000	,0000000	3
		pipa PVC	,000000	,0000000	3
		Total	,000000	,0000000	9
	10 menit	kontrol	28,951633	,7000441	3
		tempurung	41,955733	,9004956	3
		pipa PVC	14,182533	1,8587476	3
		Total	28,363300	12,0835392	9
	20 menit	kontrol	28,520500	1,2605233	3
		tempurung	45,828333	,2805396	3
		pipa PVC	18,694233	7,1326216	3
		Total	31,014356	12,4371410	9
	30 menit	kontrol	29,604967	,3683809	3
		tempurung	48,724200	,4227267	3
		pipa PVC	17,046967	2,8103910	3
		Total	31,792044	13,8936234	9
	40 menit	kontrol	29,621100	,6276671	3
		tempurung	62,415433	,8722878	3
		pipa PVC	22,810400	,9107185	3
		Total	38,282311	18,3520473	9
	50 menit	kontrol	31,609600	,5198997	3
		tempurung	54,764133	8,8395074	3
		pipa PVC	27,263333	2,0634765	3
		Total	37,879022	13,5860530	9
	60 menit	kontrol	32,056467	,1047554	3
		tempurung	60,578733	1,0896538	3
		pipa PVC	41,366433	1,3217857	3
Total		44,667211	12,6253640	9	
Total	kontrol	25,766324	10,8641498	21	
	tempurung	44,895224	20,2885978	21	
	pipa PVC	20,194843	12,2939262	21	
	Total	30,285463	18,2568621	63	

Multivariate Tests^c

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1,000	262195,1 ^a	3,000	40,000	,000
	Wilks' Lambda	,000	262195,1 ^a	3,000	40,000	,000
	Hotelling's Trace	19664,631	262195,1 ^a	3,000	40,000	,000
	Roy's Largest Root	19664,631	262195,1 ^a	3,000	40,000	,000
WAKTU	Pillai's Trace	1,022	3,618	18,000	126,000	,000
	Wilks' Lambda	,021	18,321	18,000	113,622	,000
	Hotelling's Trace	44,004	94,526	18,000	116,000	,000
	Roy's Largest Root	43,957	307,700 ^b	6,000	42,000	,000
PERLKN	Pillai's Trace	1,447	35,802	6,000	82,000	,000
	Wilks' Lambda	,017	88,232 ^a	6,000	80,000	,000
	Hotelling's Trace	30,061	195,399	6,000	78,000	,000
	Roy's Largest Root	29,136	398,192 ^b	3,000	41,000	,000
WAKTU * PERLKN	Pillai's Trace	1,054	1,896	36,000	126,000	,005
	Wilks' Lambda	,094	4,059	36,000	118,912	,000
	Hotelling's Trace	8,099	8,699	36,000	116,000	,000
	Roy's Largest Root	7,900	27,649 ^b	12,000	42,000	,000

a. Exact statistic

b. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

c. Design: Intercept+WAKTU+PERLKN+WAKTU * PERLKN

Levene's Test of Equality of Error Variances[§]

	F	df1	df2	Sig.
konsentrasi Cr dlm limbah	9,362	20	42	,000
jumlah penurunan cr dlm limbah	6,799	20	42	,000
persentase penyerapan Cr oleh biofilm	8,245	20	42	,000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+WAKTU+PERLKN+WAKTU * PERLKN

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	konsentrasi Cr dlm limbah	11516,022 ^a	20	575,801	168,336	,000
	jumlah penurunan cr dlm limbah	11218,703 ^b	20	560,935	115,396	,000
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	20358,055 ^c	20	1017,903	139,098	,000
Intercept	konsentrasi Cr dlm limbah	171249,034	1	171249,034	50064,920	,000
	jumlah penurunan cr dlm limbah	32299,085	1	32299,085	6644,579	,000
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	57784,186	1	57784,186	7896,278	,000
WAKTU	konsentrasi Cr dlm limbah	6281,019	6	1046,837	306,044	,000
	jumlah penurunan cr dlm limbah	6280,847	6	1046,808	215,350	,000
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	11269,363	6	1878,227	256,662	,000
PERLKN	konsentrasi Cr dlm limbah	4127,158	2	2063,579	603,291	,000
	jumlah penurunan cr dlm limbah	3830,093	2	1915,046	393,964	,000
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	7049,455	2	3524,728	481,658	,000
WAKTU * PERLKN	konsentrasi Cr dlm limbah	1107,845	12	92,320	26,990	,000
	jumlah penurunan cr dlm limbah	1107,763	12	92,314	18,991	,000
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	2039,237	12	169,936	23,222	,000
Error	konsentrasi Cr dlm limbah	143,663	42	3,421		
	jumlah penurunan cr dlm limbah	204,161	42	4,861		
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	307,352	42	7,318		
Total	konsentrasi Cr dlm limbah	182908,719	63			
	jumlah penurunan cr dlm limbah	43721,948	63			
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	78449,593	63			
Corrected Total	konsentrasi Cr dlm limbah	11659,685	62			
	jumlah penurunan cr dlm limbah	11422,864	62			
	persentase penyerapan Cr oleh biofilm	20665,407	62			

a. R Squared = ,988 (Adjusted R Squared = ,982)

b. R Squared = ,982 (Adjusted R Squared = ,974)

c. R Squared = ,985 (Adjusted R Squared = ,978)

Estimated Marginal Means

Grand Mean

Dependent Variable	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
konsentrasi Cr dlm limbah	52,137	,233	51,666	52,607
jumlah penurunan cr dlm limbah	22,643	,278	22,082	23,203
persentase penyerapan Cr oleh biofilm	30,285	,341	29,598	30,973

Post Hoc Tests

waktu sampling

Homogeneous Subsets

jumlah penurunan cr dlm limbah

Duncan^{a,b,c}

waktu sampling	N	Subset				
		1	2	3	4	5
0 menit	9	,000000				
10 menit	9		21,221333			
20 menit	9		23,293222	23,293222		
30 menit	9			23,769444		
50 menit	9				28,314111	
40 menit	9				28,574167	
60 menit	9					33,325389
Sig.		1,000	,053	,649	,804	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 4,861.

- Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.
- The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- Alpha = ,05.

persentase penyerapan Cr oleh biofilm

Duncan^{a,b,c}

waktu sampling	N	Subset				
		1	2	3	4	5
0 menit	9	,000000				
10 menit	9		28,363300			
20 menit	9			31,014356		
30 menit	9			31,792044		
50 menit	9				37,879022	
40 menit	9				38,282311	
60 menit	9					44,667211
Sig.		1,000	1,000	,545	,753	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 7,318.

- Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.
- The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- Alpha = ,05.

**jenis perlakuan
Homogeneous Subsets**

konsentrasi Cr dlm limbah

Duncan^{a,b,c}

jenis perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
tempurung	21	40,796310		
kontrol	21		56,460905	
pipa PVC	21			59,152976
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3,421.

- Uses Harmonic Mean Sample Size = 21,000.
- The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- Alpha = ,05.

jumlah penurunan cr dlm limbah

Duncan^{a,b,c}

jenis perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
pipa PVC	21	14,985810		
kontrol	21		19,598929	
tempurung	21			33,342833
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 4,861.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21,000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

persentase penyerapan Cr oleh biofilm

Duncan^{a,b,c}

jenis perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
pipa PVC	21	20,194843		
kontrol	21		25,766324	
tempurung	21			44,895224
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 7,318.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21,000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Jenis perlakuan dan waktu sampling
PRLK_WKT
Homogeneous Subsets

CR_TRN

Duncan^{a,b}

PRLK_WKT	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
kontrol-0 menit	3	,000000								
tempurung-0 menit	3	,000000								
pvc-0 menit	3	,000000								
pvc-10 menit	3		10,531667							
pvc-30 menit	3		12,664167							
pvc-20 menit	3		13,874167	13,874167						
pvc-40 menit	3			16,919167	16,919167					
pvc-50 menit	3				20,231667	20,231667				
kontrol-20 menit	3					21,696333				
kontrol-10 menit	3					22,022333				
kontrol-30 menit	3					22,517667				
kontrol-40 menit	3					22,530833				
kontrol-50 menit	3					24,043167				
kontrol-60 menit	3					24,382167				
pvc-60 menit	3						30,679833			
tempurung-10 menit	3						31,110000			
tempurung-20 menit	3						34,309167	34,309167		
tempurung-30 menit	3							36,126500		
tempurung-50 menit	3								40,667500	
tempurung-60 menit	3									44,914167
tempurung-40 menit	3									46,272500
Sig.		1,000	,086	,098	,073	,050	,062	,319	1,000	,455

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 4,861.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Lampiran 5
Uji Statistik Kapasitas Penyerapan Cr oleh Biofilm

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
jenis	0	kontrol	21
perlakuan	1	tempurung	21
	2	PVC	21
waktu sampling	0	0 menit	9
	1	10 menit	9
	2	20 menit	9
	3	30 menit	9
	4	40 menit	9
	5	50 menit	9
	6	60 menit	9

Descriptive Statistics

Dependent Variable: kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

jenis perlakuan	waktu sampling	Mean	Std. Deviation	N
kontrol	0 menit	,000000	,0000000	3
	10 menit	,000000	,0000000	3
	20 menit	,000000	,0000000	3
	30 menit	,000000	,0000000	3
	40 menit	,000000	,0000000	3
	50 menit	,000000	,0000000	3
	60 menit	,000000	,0000000	3
	Total	,000000	,0000000	21
tempurung	0 menit	,000000	,0000000	3
	10 menit	11,451534	,4035210	3
	20 menit	12,629141	,3961059	3
	30 menit	13,298098	,3383149	3
	40 menit	17,032822	,3513494	3
	50 menit	14,969632	2,6215703	3
	60 menit	16,532822	,4621147	3
	Total	12,273436	5,5540348	21
PVC	0 menit	,000000	,0000000	3
	10 menit	9,796899	1,4679307	3
	20 menit	12,906202	4,9429172	3
	30 menit	11,780620	2,2322921	3
	40 menit	15,738760	,9102099	3
	50 menit	18,820155	1,7735304	3
	60 menit	28,539380	1,4073753	3
	Total	13,940288	8,5067374	21
Total	0 menit	,000000	,0000000	9
	10 menit	7,082811	5,4139862	9
	20 menit	8,511781	6,8494586	9
	30 menit	8,359573	6,4042987	9
	40 menit	10,923861	8,2265123	9
	50 menit	11,263262	8,7546468	9
	60 menit	15,024067	12,4316951	9
	Total	8,737908	8,5179776	63

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

F	df1	df2	Sig.
6,079	20	42	,000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

- a. Design: Intercept+PRLKUAN+WKTU+PRLKUAN * WKTU

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4408,131 ^a	20	220,407	102,472	,000
Intercept	4810,115	1	4810,115	2236,332	,000
PRLKUAN	2434,231	2	1217,115	565,865	,000
WKTU	1169,606	6	194,934	90,629	,000
PRLKUAN * WKTU	804,294	12	67,024	31,161	,000
Error	90,338	42	2,151		
Total	9308,583	63			
Corrected Total	4498,468	62			

a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,970)

Estimated Marginal Means

jenis perlakuan

Dependent Variable: kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

jenis perlakuan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
kontrol	-4,14E-15	,320	-,646	,646
tempurung	12,273	,320	11,628	12,919
PVC	13,940	,320	13,294	14,586

Post Hoc Tests

jenis perlakuan

Homogeneous Subsets

kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

Duncan^{a,b}

jenis perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
kontrol	21	,000000		
tempurung	21		12,273436	
PVC	21			13,940288
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,151.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21,000.

b. Alpha = ,05.

kapasitas penyerapan Cr oleh biofilm

Duncan^{a,b}

jenis perlakuan	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
kontrol-0 menit	3	,000000							
kontrol-10 menit	3	,000000							
kontrol-20 menit	3	,000000							
kontrol-30 menit	3	,000000							
kontrol-40 menit	3	,000000							
kontrol-50 menit	3	,000000							
kontrol-60 menit	3	,000000							
tempurung-0 menit	3	,000000							
pvc-0 menit	3	,000000							
pvc-10 menit	3		9,796899						
tempurung 10 menit	3		11,451534	11,451534					
pvc-30 menit	3		11,780620	11,780620					
tempurung-20 menit	3			12,629141	12,629141				
pvc-20 menit	3			12,906202	12,906202				
tempurung-30 menit	3			13,298098	13,298098	13,298098			
tempurung-50 menit	3				14,969632	14,969632	14,969632		
pvc-40 menit	3					15,738760	15,738760		
tempurung-60 menit	3						16,532822	16,532822	
tempurung-40 menit	3						17,032822	17,032822	
pvc-50 menit	3							18,820155	
pvc-60 menit	3								28,539380
Sig.		1,000	,125	,177	,080	,060	,123	,077	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,151.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur *Alhamdulillah Rabbil'alamin* penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan ridho-Nya sehingga penulisan dan penyusunan naskah skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan segenap umatnya yang senantiasa *istiqomah*.

Dalam penelitian dan penyusunan naskah skripsi ini tak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Mas Yudi, Mbak Yuli dan Mas Zain serta adekku Ida atas cinta, kasih sayang, pengorbanan, dorongan semangat, do'a dan nasehatnya kepada penulis.
2. Bapak Drs. Marsusi, M.S selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Bapak Drs. Wiryanto, M.Si selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
4. Ibu Dra. Ratna Setyaningsih, M.Si selaku Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penyusunan naskah skripsi ini serta bimbingan dan nasehat selama masa studi penulis.
5. Ibu Ari Susilowati, M.Si selaku Pembimbing II yang telah memberikan izin, bimbingan, bantuan dan pengarahan selama penelitian dan penyusunan naskah skripsi ini.
6. Bapak Dr. Sugiyarto, M.Si selaku Penelaah I yang telah memberikan saran dan kritik demi perbaikan dalam penyusunan naskah skripsi ini.
7. Bapak Agung Budiharjo, M.Si selaku Penelaah II yang telah memberikan saran dan kritik demi perbaikan dalam penyusunan naskah kripsi ini.
8. Segenap jajaran Dosen, Birokrat dan Staff karyawan FMIPA UNS.
9. Segenap keluarga besar di Klaten, Solo dan Baturetno.

10. Sahabat-sahabatku (Sari, Tika, Ifah, Ninik dan Mbak Dini) atas segala canda, tawa, kelucuan dan kebersamaan yang telah terjalin selama ini.
11. Teman dan sahabat seperjuanganku, Neni atas pengertian dan kerjasamanya. Thank you so much for everything.
12. Temen-temen di Lab, baik yang sudah selesai penelitian maupun belum, terima kasih atas kebersamaannya. Semangat!
13. Sahabat perjuangan (Wulan, Khotik, Ira, Wati, Lesmita, Anis, Deni), terimakasih kebersamaan yang indah selama ini di Porsima maupun di tempat lain.
14. Rekan perjuangan di SKI MIPA, HIMABIO, BEM MIPA dan BEM UNS, terimakasih atas segala kebersamaan dan saling pengertian yang terbangun, canda tawa yang mengobati lelahnya jiwa.
15. Nuraini, S.Si, Dinda Djati KS, S.Si, Syahrul, Kuncoro, Unang, Iko, Slamet, Cahyo dan semua teman-teman Biologi FMIPA UNS angkatan 2002, atas kebersamaannya selama ini.
16. Kakak-kakak dan Adik-adik Biologi FMIPA UNS, lanjutkan perjuangan di manapun berada.
17. Sahabatku Murni, Asep, Ipa, Suzanna, dan wadya bala SMU 1 Wonogiri yang pernah dekat dengan penulis.
18. Semua *ikhwah* fiddin yang pernah bersama berjuang di medan yang sangat berat dan Insya Allah kita akan senantiasa di jalan ini, keep istiqomah.
19. Semua warga Wisma Ratna Bahari, atas kebersamaan yang telah terbina selama ini, meski jauh di mata tapi tetap di hati.
20. Semua warga kos An Naura (Shofi, Aul, Muti', Ika, Dwi, Septi, Retna, Maya, Linda, Ismi, Wulan dan Mamiek), atas dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan lancar.
21. Segenap pimpinan dan staf karyawan Laboratorium Pusat MIPA UNS Sub Lab. Biologi, Kimia dan Fisika.
22. Lingkaran malaikatku, jazakumullah khoir atas ukhuwah dan kebersamaan yang terbangun selama ini. Keep istiqomah wherever you're.

23. Lingkaran malaikat kecilku, afwan atas segala kekurangan dan kekhilafan.

Jadilah generasi terbaik seperti generasi pada masa Rasulullah.

24. Semua orang yang telah dipilih Allah untuk menjadi jalan turunya hidayah Allah padaku, semoga mendapatkan apa yang telah dijanjikan oleh-Nya.

Semoga semua bantuannya mendapat balasan yang sesuai dari-Nya. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya serta bisa menjadi acuan penelitian selanjutnya.

Surakarta, April 2007

Penulis

Ana Nur Chasanah

M0402015

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis dilahirkan pada tanggal 24 Desember 1983 di Klaten, Jawa Tengah. Pada tahun 1996 penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri Tanggulangin II, Jatisrono, Wonogiri. Selanjutnya penulis menamatkan SLTP di SLTP Negeri 2 Wonogiri pada tahun 1999 dan SMU di SMU Negeri 1 Wonogiri pada tahun 2002.

Pada tahun 2002 penulis diterima di Jurusan Biologi, FMIPA UNS melalui jalur Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB). Selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi, penulis pernah menjadi Asisten Biologi Umum dan Taksonomi Tumbuhan II. Penulis juga pernah tercatat sebagai panitia Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (tahun 2005), Seminar Nasional dan Lokakarya Mahasiswa Rekonstruksi Sistem Ekonomi Menuju Indonesia yang Sejahtera dan Mandiri (tahun 2006) dan Seminar Nasional Menuju Taman Budaya Gunung Lawu (tahun 2005). Selain itu, selama menempuh pendidikan, penulis juga pernah menjabat sebagai Wakil Bendahara Umum HIMABIO (Himpunan Mahasiswa Biologi) periode 2003/2004, Bendahara Umum HIMABIO pada tahun 2004/2005, Staff Departemen Pembinaan Kader SKI (Siyar Kegiatan Islam) FMIPA UNS periode 2003/2004, Bendahara Umum BEM (Badan eksekutif Mahasiswa) FMIPA UNS periode 2005/2006, dan sebagai Kepala Deputy HRD (Human Resources Development) Departemen Pengembangan Organisasi dan Sumber Daya Manusia BEM UNS periode 2006. Penulis juga pernah menjadi salah satu pemakalah pada LKTM (Lomba Karya Tulis Mahasiswa) Tingkat UNS (tahun 2006).