

**KEEFEKTIFAN *Bacillus cereus* ( Frankland and  
Frankland) ATCC 11778 (BAKTERI GRAM POSITIF)  
DAN *Pseudomonas aeruginosa*( Schroeter) ATCC 27853  
(BAKTERI GRAM NEGATIF) SEBAGAI  
BIOAKUMULATOR KADMIUM**



**TESIS**

**MAGISTER ILMU LINGKUNGAN**

**AGUSTIEN NARYANINGSIH, S.Si  
L4K001067**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2005**

## LEMBAR PENGESAHAN

**KEEFEKTIFAN *Bacillus cereus* (Frakland and Frakland) ATCC 11778 (BAKTERI GRAM POSITIF) DAN *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (BAKTERI GRAM NEGATIF) SEBAGAI BIOAKUMULATOR KADMIUM**

Disusun Oleh

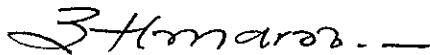
Agustien Naryaningsih

L4K 001067

Telah dipertahankan di depan penguji dan diterima  
pada tanggal 27 Juli 2005

Mengetahui Komisi Pembimbing

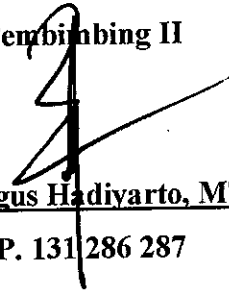
Pembimbing I



Dr. Boedi Hendarto

NIP. 130 681 639

Pembimbing II



Ir. Agus Hadiyanto, MT

NIP. 131 286 287

Ketua Program  
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES  
NIP. 130 810 134

## LEMBAR PENGESAHAN

**KEEFEKTIFAN *Bacillus cereus* (Frakland and Frakland) ATCC 11778 (BAKTERI GRAM POSITIF) DAN *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (BAKTERI GRAM NEGATIF) SEBAGAI BIOAKUMULATOR KADMIUM**

Disusun Oleh

Agustien Naryaningsih

L4K 001067

Menyetujui dan Mengesahkan

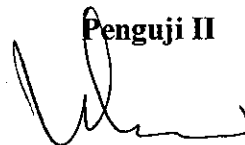
Penguji I



Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS

NIP. 130 531 701

Penguji II



Ir. Sumarno, MSi

NIP. 130 892 624

Mengetahui Komisi Pembimbing

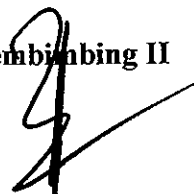
Pembimbing I



Dr. Boedi Hendrarto

NIP. 130 681 639

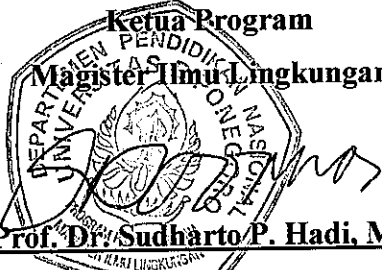
Pembimbing II



Ir. Agus Hadivarto, MT

NIP. 131 286 287

Ketua Program  
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES  
NIP. 130-810 134

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT seru sekalian alam, hanya atas petunjuk, bimbingan dan ridla-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Keefektifan *Bacillus cereus* (Frankland and Frankland) ATCC 11778 (Bakteri Gram Positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (Bakteri Gram Negatif) Sebagai Bioakumulator Kadmium”.

Pada kesempatan yang baik ini, dengan tulus penulis sampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang tinggi kepada para pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tesis ini, terutama kepada :

1. Prof. Sudharto P Hadi, MES, Ph.D sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
2. Dr. Boedi Hendarto, selaku Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan seluruh dukungan fasilitas lainnya memberikan bimbingan selama menyusun tesis ini.
3. Ir. Agus Hadiyanto, MT, selaku Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran dan seluruh dukungan fasilitas lainnya memberikan inspirasi, motivasi dan bimbingan dalam penyusunan tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS selaku Penguji I.
5. Ir. Sumarno, MSi selaku Penguji II.
6. Kepala Balai Laboratorium Kesehatan Semarang, dan seluruh staff atas segala fasilitas dan kemudahan selama penelitian hingga selesainya tesis ini.

7. Almarhum Bapak, ibu, suami, buah hatiku Daffa dan adik-adik tercinta, atas segala do'a dan dukungannya serta telah mengajari penulis untuk menjadi lebih dewasa, arif dan bijaksana
8. Ibu Yayuk, Mas Bowo, Mas Yanto dan Mbak Bakti atas bantuannya khususnya dalam pengolahan data statistik.
9. Teman-teman Magister Ilmu lingkungan Angkatan 2001 atas dukungannya selama ini, admisi MIL atas segala kemudahannya, para dosen dan semua pihak yang tak mungkin penulis sebut satu persatu yang telah membantu penulis baik moril maupun materiil dalam proses penyelesaian tesis ini.

Semoga tesis ini dapat membawa manfaat bagi kita semua.

Semarang, September 2005

Penulis,

**AGUSTIEN NARYANINGSIH**

## ABSTRAK

Limbah yang mengandung logam berat dari proses industri yang tidak diolah akan berakibat buruk terhadap lingkungan. Problem khusus yang berhubungan dengan logam berat dalam lingkungan adalah akumulasi dalam rantai makanan dan keberadaan yang terus menerus di lingkungan.

Upaya penanganan pencemaran logam berat baik secara fisik maupun kimia telah banyak dilakukan, namun ternyata hasil pengolahan tersebut masih di atas ambang baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Salah satu metode alternatif yang dikembangkan untuk mengatasi pencemaran logam berat adalah cara biologi dengan menggunakan bakteri yang dikenal sebagai bioremediasi. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bacillus cereus* (bakteri Gram positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (bakteri Gram negatif). Kedua bakteri ditumbuhkan pada medium Zobell yang mengandung Cd dengan konsentrasi 0.3 ppm pada pH 7 dan diinkubasi pada suhu kamar selama 24 jam. Pertumbuhan dan akumulasi Cd oleh bakteri diamati setiap 3 jam sekali. Pertumbuhan bakteri diamati dengan mengukur berat kering dan akumulasi Cd ditentukan dengan AAS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju akumulasi Cd oleh *P. aeruginosa* sebesar 76.34 % per 24 jam dan *B. cereus* sebesar 55.88 % per 24 jam atau dapat dikatakan laju akumulasi Cd oleh *P.aeruginosa* 1,4 kali lebih besar dibanding *B. cereus*. Kesimpulannya adalah *P. aeruginosa* lebih efektif dalam mengakumulasi Cd dibanding *B. cereus*.

**Kata kunci** : bioremediasi, logam berat Cd, *B. cereus*, *P. aeruginosa*

## ABSTRACT

Heavy metal in the industrial waste can influence the quality of water environment. The problem related is accumulation of heavy metals in food chain and prolong existence in environment.

Some physical and chemical techniques have been conducted by many authors to decrease concentration of heavy metals in waters, however the results are still higher than that suggested by government. Therefore a method called bioremediation may become an alternative in decreasing concentration of heavy metals in waters.

This study was aimed to analyze ability of bacterias *Bacillus cereus* and *Pseudomonas aeruginosa* to accumulate cadmium in the waters. Both of the bacteria were growth on Zobell medium that contain 0.3 ppm of cadmium. The incubation was done on room temperature, for 24 hours at pH 7. Dry weight and cadmium content (estimated by the AAS) were used to determine the bacteria growth.

The result showed that accelerations of the accumulation cadmium was 76.34 %/24 hour (*P. aeruginosa*) and 55.88 %/24 hour (*B. cereus*) or the accelerations of the accumulation cadmium by *P. aeruginosa* 1.4 greater than *B. cereus*. Its concluded that *P. aeruginosa* was more effectively to accumulate the cadmium of the medium.

**Keywords :** Bioremediation, cadmium, *B. cereus*, *P. aeruginosa*

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, September 2005

Penulis,

**AGUSTIEN NARYANINGSIH**  
NIM L4K001067



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1.Latar Belakang .....	1
I.2.Perumusan Masalah .....	3
I.3.Tujuan Penelitian .....	7
I.4.Hipotesis Penelitian .....	7
I.5.Manfaat Penelitian .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
II.1. Tinjauan Umum Bakteri .....	8
II.2. Pertumbuhan Bakteri .....	9
II.3. Tinjauan Tentang <i>Bacillus cereus</i> .....	13
II.4. Tinjauan Tentang <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	14
II.5. Tinjauan Tentang Kadmium .....	14
II.6. Pengikatan Logam Berat Oleh Bakteri .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	20
III.1. Kerangka Konsep Penelitian .....	20
III.2. Variabel Penelitian .....	21
III.3. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
III.4. Alat dan Bahan Penelitian .....	22
III.5. Metode Kerja .....	23
III.6. Teknik Analisis Data .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	30
IV.1. Hasil Penelitian .....	30
IV.1.1. Pertumbuhan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> Berdasarkan Berat Kering .....	30
IV.1.2. Sisa Logam Berat Kadmium pada Medium dengan Perlakuan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> . .....	31
IV.1.3. Hubungan Antara Berat Kering dan Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh <i>B. cereus</i> .....	31

IV.1.4. Hubungan Antara Berat Kering dan Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh <i>P. aeruginosa</i> ...	32
IV.2. Pembahasan .....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	39
V.1. Kesimpulan .....	39
V.2. Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	40
<b>LAMPIRAN</b> .....	43

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Industri-industri yang Menghasilkan Limbah Cair yang Mengandung Logam Berat .....	5
<b>Tabel 2.</b> Bakteri Pengkumulasi Logam Berat .....	16
<b>Tabel 3.</b> Sisa Cd Pada Medium Dengan Perlakuan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	31
<b>Tabel 4.</b> Data Kerapatan Optis (OD) <i>B. cereus</i> .....	54
<b>Tabel 5.</b> Hasil ANOVA Pengaruh Konsentrasi Cd terhadap Kerapatan Optis <i>B. cereus</i> .....	55
<b>Tabel 6.</b> Data Kerapatan Optis (OD) <i>P. aeruginosa</i> .....	55
<b>Tabel 7.</b> Hasil ANOVA Pengaruh Konsentrasi Cd terhadap Kerapatan Optis <i>P. aeruginosa</i> .....	55

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Kerangka Pendekatan Masalah .....	6
<b>Gambar 2.</b> Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	11
<b>Gambar 3.</b> Desain Unit Percobaan (Uji Toleransi) .....	25
<b>Gambar 4.</b> Berat Kering <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> pada Medium dengan Konsentrasi Cd 0,3 ppm Dalam Berbagai Masa Inkubasi.....	30
<b>Gambar 5.</b> Kurva Regresi Berat Kering dan Akumulasi Cd <i>B. cereus</i> pada Medium dengan Konsentrasi Cd 0.3 ppm .....	32
<b>Gambar 6.</b> Kurva Regresi Berat Kering dan Akumulasi Cd <i>P. aeruginosa</i> pada Medium dengan Konsentrasi Cd 0.3 ppm .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Hasil Pengukuran Kerapatan Optis Kultur <i>B. cereus</i> pada Setiap Perlakuan dengan Ulangan 3 Kali .....	43
<b>Lampiran 2.</b> Rata-rata Nilai Kerapatan Optis Kultur <i>B. cereus</i> pada Setiap Perlakuan .....	44
<b>Lampiran 3.</b> Hasil Pengukuran Kerapatan Optis kultur <i>P. aeruginosa</i> pada Setiap Perlakuan dengan Ulangan 3 Kali.....	45
<b>Lampiran 4.</b> Rata-rata Nilai Kerapatan Optis Kultur <i>P. aeruginosa</i> pada Setiap Perlakuan .....	46
<b>Lampiran 5.</b> Hasil Pengukuran Berat Kering <i>B. cereus</i> pada Perlakuan Medium Kadmium Konsentrasi 0.3 ppm .....	47
<b>Lampiran 6.</b> Hasil Uji AAS <i>B. cereus</i> pada Perlakuan Medium Kadmium Konsentrasi 0.3 ppm.....	48
<b>Lampiran 7.</b> Hasil Pengukuran Berat Kering <i>P. aeruginosa</i> pada Perlakuan Medium Kadmium Konsentrasi 0.3 ppm.....	49
<b>Lampiran 8.</b> Hasil Uji AAS <i>P. aeruginosa</i> pada Perlakuan Medium Kadmium Konsentrasi 0.3 ppm.....	50
<b>Lampiran 9.</b> Rata-rata Berat Kering <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> pada Medium dengan Cd 0.3 ppm .....	51
<b>Lampiran 10.</b> Rata-rata Akumulasi Cd dan Sisa Cd pada Medium dengan Perlakuan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	52
<b>Lampiran 11.</b> Perhitungan Akumulasi Kadmium Optimum Perlakuan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	53
<b>Lampiran 12.</b> Model Aditif Linier dan Perhitungan Analisis Ragam Perlakuan <i>B. cereus</i> dan <i>P. aeruginosa</i> .....	54

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Perkembangan yang pesat di berbagai bidang industri selain memberikan dampak yang positif juga memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan. Saat ini tidak dapat dipungkiri kalau berbagai eksistensi logam berat seperti Cd, As, Cr, Ni, Cu, Hg, Pb menempati posisi strategis di banyak bidang kehidupan manusia. Eksistensinya menyangkut banyak hal diantaranya pelapisan logam, pembuatan berbagai peralatan, komponen elektronik, pabrik-pabrik bahan kimia, automotif, pesawat udara dan industri-industri transportasi, bahkan di Indonesia terkait juga dengan bahan bakar, yaitu bensin yang masih mengandung timbal (Pb) (Anonim, 2004). Banyak industri membuang limbah cair yang mengandung logam berat yang relatif tinggi seperti uranium, kadmium, merkuri dan tembaga. Peningkatan jumlah limbah logam berat ke dalam biosfer sebagai hasil dari aktivitas industri menjadi indikasi bahaya yang potensial pada ekosistem. Limbah yang tidak diolah dari proses industri tersebut mempunyai akibat yang buruk terhadap lingkungan. Problem khusus yang berhubungan dengan logam berat dalam lingkungan adalah akumulasi dalam rantai makanan dan keberadaan yang terus menerus di lingkungan.

Keberadaan kadmium di perairan seperti halnya logam berat yang lain berpotensi mengganggu kehidupan biota air karena sifat racun yang dibawanya. Sifat racun itu meskipun pada konsentrasi yang sedemikian rendah dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai

makanan dengan adanya proses biomagnifikasi. Lebih lanjut Widje (1993) dalam Suhendrayatna (2001) menyatakan bahwa kadmium bersama-sama timbal dan merkuri memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia dan berpengaruh serius terhadap metabolisme pada kehidupan organisme. Sampel-sampel limbah cair berbagai industri yang diteliti pada laboratorium Teknik Kimia UNDIP menunjukkan kadar kadmium berkisar 0,19 mg/L sampai dengan 0,24 mg/L.

Banyak usaha yang telah dilakukan untuk mengatasi pencemaran logam berat secara fisik (elektrolisa, elektrodialisa) maupun secara kimiawi (pengendapan) (Fardiaz, 1992). Cara pemisahan logam berat yang banyak diterapkan selama ini adalah cara kimia, yaitu dengan menambahkan bahan kimia yang dapat mengendapkan logam berat sebagai hidroksidanya, diikuti dengan proses pengendapan (Mawardi *et al.*, 1997). Menurut Harris dan Remalow (1990) cara itu tidak dapat mengendapkan logam-logam berat seperti timbal, kadmium dan merkuri secara sempurna. Pengolahan secara fisika yang umum dilakukan adalah adsorpsi, misalnya dengan karbon aktif dan penyaringan dengan membran (Mawardi *et al.*, 1997). Namun adanya kendala teknis dan biaya yang tinggi dalam pengolahan baik secara kimia maupun fisika menyebabkan dikembangkannya cara biologi sebagai salah satu alternatif penanganan limbah logam berat. Selama ini jenis-jenis mikroalga (Zolothukhina, 1991 dalam Triadiati, *et.al.*, 1997) dan tanaman herba (Dickinson *et.al.*, 1992) sudah banyak digunakan untuk mengatasi pencemaran logam berat. Bila dibandingkan dengan senyawa organik, logam berat lebih sulit diuraikan oleh dekomposer. Meskipun demikian ada beberapa

genera bakteri yang mampu mengekstrak logam dari lingkungannya (Prentis, 1985 ). Telah diketahui bahwa mikroorganisme mempunyai afinitas yang tinggi terhadap logam dan dapat mengakumulasi logam berat dan logam beracun dengan berbagai mekanisme. Mikroorganisme termasuk di dalamnya bakteri, jamur, dan alga, sangat efektif dalam menangkap logam berat. Octavia (1997) melaporkan bahwa *Pseudomonas sp* mampu mengambil merkuri sampai 85% dari medium yang mengandung merkuri. Wong *et.al* (1993) menyatakan bahwa *Pseudomonas putida* mampu mengakumulasi Cu(II) sampai 6.5 % berat kering dari larutan yang mengandung Cu(II) sedangkan *Pseudomonas aeruginosa* mampu mengakumulasi uranium dari lingkungannya (Prentis, 1985). Mawardi *et.al* (1997) melaporkan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* mampu menyerap timbal sebesar 86% dari medium yang mengandung timbal. Selain itu *S. cerevisiae* mampu menyerap seng sebesar 59,78% dari mediumnya (Chansyanah, 1998).

## **I.2. Perumusan Masalah**

Banyaknya industri yang menghasilkan limbah yang mengandung logam berat misalnya industri soda kaustik, pelapisan logam, baterai kering, cat dan lain-lain (Tabel 1.) menyebabkan terjadinya pencemaran di perairan. Telah banyak upaya untuk menangani pencemaran logam berat baik secara fisik maupun kimia, namun ternyata hasil pengolahan tersebut masih di atas ambang baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah.. Oleh karena itu diupayakan peranganan secara hayati yaitu dengan menggunakan bakteri untuk mengakumulasikan logam berat misalnya kadmium dari limbah.



Berdasarkan penelitian Triadiati *et al.* (1997), beberapa genera bakteri baik golongan bakteri Gram positif maupun Gram negatif diketahui mampu menyerap kadmium dari limbah cair. Genera bakteri tersebut antara lain adalah *Bacillus sp.*, *Listeria sp.*, *Mycobacterium sp.*, dan *Lactobacillus sp.* yang merupakan golongan bakteri Gram positif sedangkan dari golongan bakteri Gram negatif antara lain *Flavobacterium sp.* dan *Pseudomonas sp.* Malekzadeh *et.al* (2002) melaporkan bahwa *Pseudomonas* MGF-48 mampu mengakumulasi logam kadmium sebesar 54 mg/g berat kering biomassa bakteri (konsentrasi awal 100 mg/l). *Bacillus megaterium* dan *Bacillus subtilis* mampu mengakumulasi logam kadmium (Bidlack, 2002)

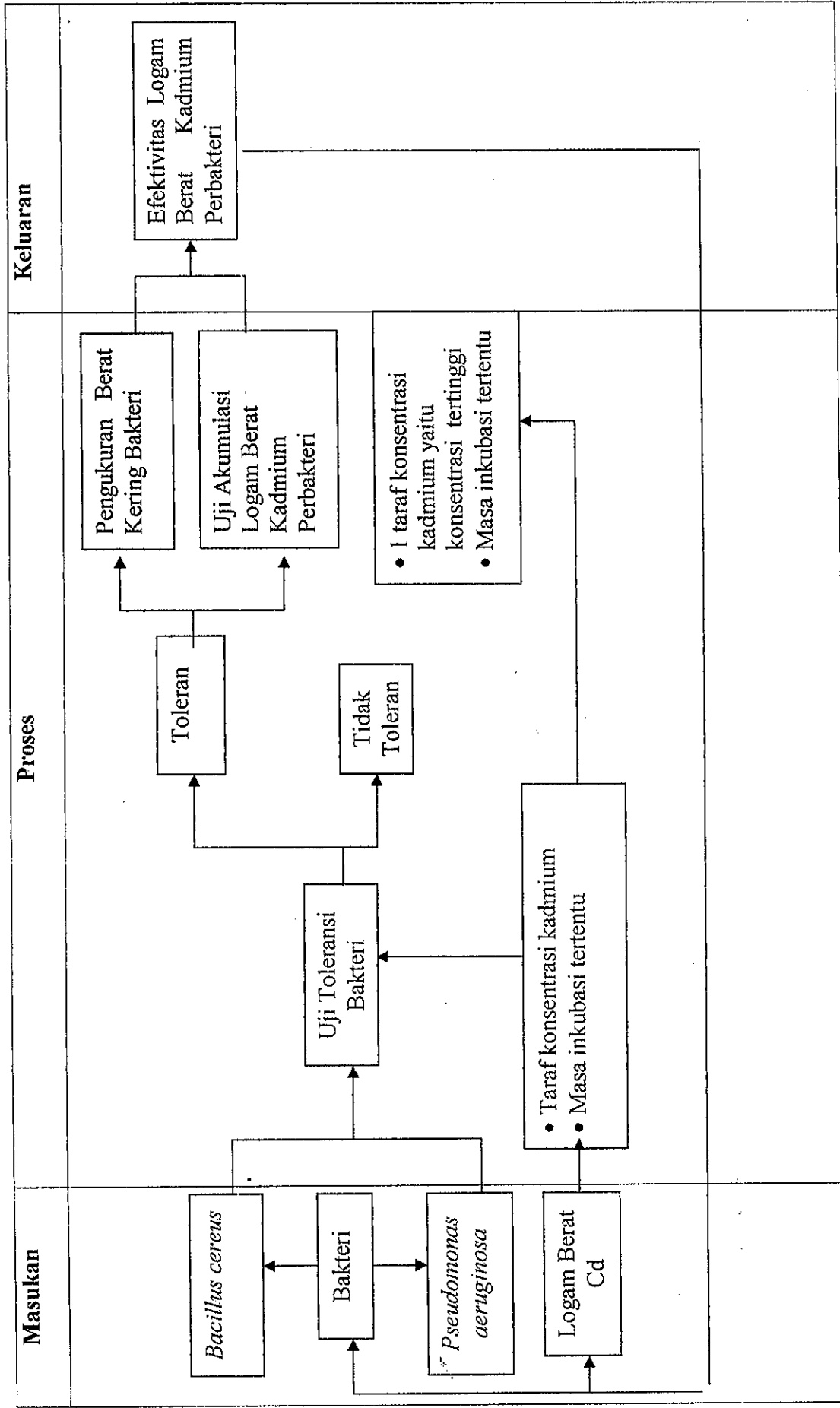
**Tabel 1.** Industri-industri yang Menghasilkan Limbah Cair yang Mengandung Logam Berat

Industri	Logam berat						
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Hg	Cd
Soda kaustik	+	+	+	+	+	+	-
Pelapisan logam	+	+	+	+	+	-	+
Penyamakan kulit	-	-	-	+	-	-	-
Tekstil	-	-	-	+	-	-	-
Baterai kering	-	-	+	+	+	+	-
Cat	+	+	+	+	-	+	+
Pestisida	+	-	-	-	-	-	-

Sumber : KepMen LH No 51/ 1995

Di samping bakteri di atas, mungkin masih ada bakteri lain yang dapat melakukan hal yang sama, misalnya *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Permasalahannya adalah apakah kedua jenis bakteri tersebut dapat mengakumulasi kadmium dan apakah kedua bakteri efektif sebagai

bioakumulator kadmium. Berkaitan dengan hal tersebut di atas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menguji keefektifan kedua jenis bakteri tersebut dalam mengakumulasi logam berat kadmium. Adapun kerangka pendekatan masalah sebagai berikut pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pendekatan Masalah

### **I. 3. Tujuan Penelitian**

Menganalisis keefektifan *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* dalam mengakumulasi logam berat kadmium.

### **I. 4 Hipotesis Penelitian**

*Pseudomonas aeruginosa* lebih efektif dalam mengakumulasi logam berat kadmium dalam medium dibandingkan dengan *Bacillus cereus*.

### **I. 5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharap dapat memberikan manfaat ilmiah bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat kadmium khususnya secara biologis.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **II.1. Tinjauan Umum Bakteri**

Bakteri merupakan sel prokariotik, uniseluler, dan tidak mengandung struktur yang terbatas membran di dalam sitoplasmanya. Sel-selnya memiliki ciri berbentuk kokus, batang atau spiral. Bakteri memiliki ukuran diameter antara 0,5  $\mu\text{m}$  - 1,0  $\mu\text{m}$  dan panjang 1,5  $\mu\text{m}$  - 2,5  $\mu\text{m}$ . Reproduksi dilakukan secara aseksual dengan pembelahan biner. Beberapa spesies/ genera dapat tumbuh pada suhu 0°C, ada pula yang tumbuh baik pada sumber air panas yang suhunya 90°C atau lebih. Kebanyakan tumbuh pada berbagai suhu di antara kedua suhu ekstrim ini. Bakteri menyebabkan berbagai perubahan kimiawi substansi pada pertumbuhannya dan dapat menguraikan berbagai substansi (Pelczar dan Chan, 1981).

Bakteri tersebar luas di permukaan bumi, atmosfer dan lingkungan. Bakteri berperan penting dalam lingkungan kita karena dapat menguraikan penumpukan bahan-bahan di tanah maupun di laut. Beberapa jenis bakteri dapat menyebabkan penyakit pada hewan (termasuk manusia), tanaman dan protista yang lain. Pada beberapa bakteri, motilitas terjadi karena adanya flagela. Endospora dapat dibentuk oleh beberapa spesies. Dengan beberapa pengecualian, sel-sel secara individu dikelilingi oleh suatu dinding sel yang kaku yang terbuat dari peptidoglikan (Pelczar dan Chan, 1981).

Meskipun keanekaragaman struktur yang besar ditunjukkan oleh bakteri, kelompok organisme yang besar dan heterogen ini dapat secara kasar dibagi menjadi 2 kelompok utama berdasarkan respon mereka

terhadap pewarnaan Gram. Usapan kering sel dipaparkan pada 4 bahan kimia secara berurutan. Sel yang mampu menahan kompleks kristal violet-iodine sekalipun mengalami dekolorisasi dengan etanol akan berwarna ungu dan disebut Gram positif. Alternatifnya, jika sel kehilangan kompleks kristal violet-iodine mereka menjadi tidak berwarna dan dapat diwarnai dengan safranin sehingga menjadi merah ( Allen, 1995).

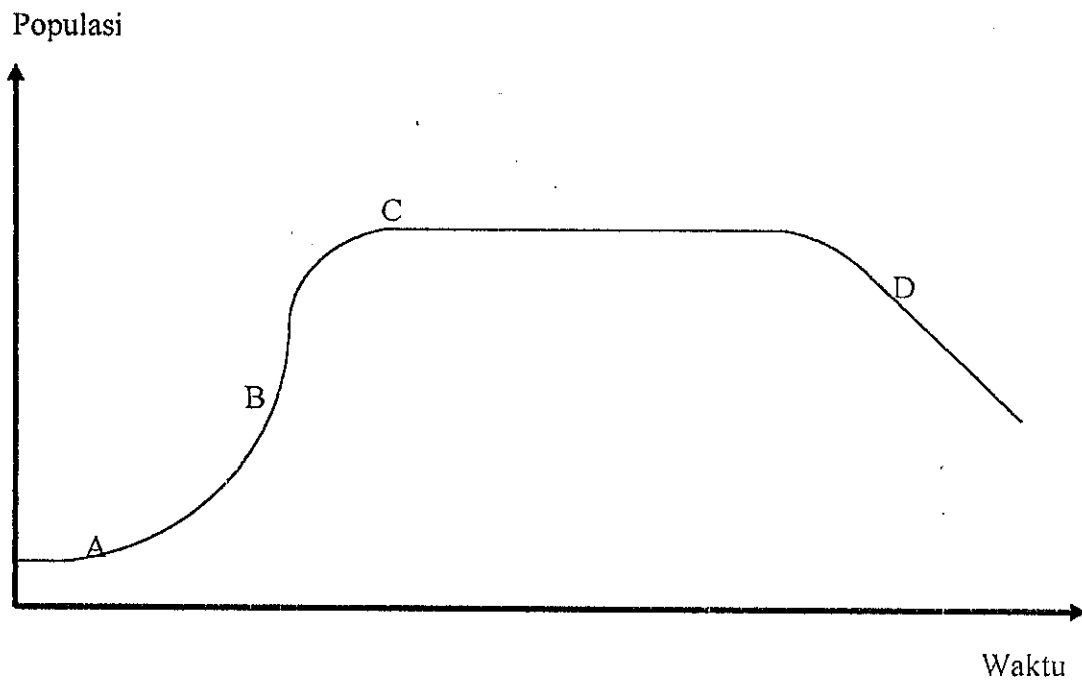
Perbedaan antara bakteri Gram positif dan Gram negatif terletak pada susunan kimia dinding selnya. Pada bakteri Gram positif dinding sel tersusun atas peptidoglikan dan komponen-komponen khusus yang berupa asam-asam teikhoat dan teikhuronat serta polisakarida. Dinding sel bakteri Gram negatif juga tersusun atas peptidoglikan sedang komponen-komponen khususnya berupa lipoprotein, selaput luar dan lipopolisakarida ( Jawetz *et. al.*, 1996).

## **II.2. Pertumbuhan Bakteri**

Pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme lain mengacu pada perubahan di dalam hasil panen yaitu sebagai pertambahan total massa sel bukan pada perubahan organisme. Pertumbuhan menyatakan pertambahan jumlah dan/atau massa menjadi lebih besar dari yang terkandung di dalam inokulum awal. Selama fase pertumbuhan seimbang (*balanced growth*), pertambahan massa berbanding lurus terhadap pertambahan komponen seluler yang lain seperti DNA, RNA dan protein (Pelczar dan Chan, 1981).

Pada pertumbuhan mikroorganisme misalnya bakteri, selang untuk terbentuknya dua sel anakan dari satu sel induk dinamakan generasi dan waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya pembelahan sel tersebut dinamakan waktu generasi. Waktu generasi tersebut berbeda-beda pada tiap-tiap jenis bakteri (Brock *et. al*, 1991)

Hubungan antara jumlah sel dengan waktu pertumbuhan dapat dinyatakan dalam kurva pertumbuhan. Kurva pertumbuhan normal bakteri pada umumnya dapat dibagi dalam empat fase yaitu fase permulaan (fase lag), fase logaritma (fase eksponensial), fase stasioner dan fase kematian. Fase lag adalah fase yang mewakili waktu yang dibutuhkan oleh organisme untuk aklimatisasi dengan lingkungan barunya, fase eksponensial adalah fase pembelahan sel dimana sel akan membelah sampai jumlah maksimum sel tercapai (suatu periode pertumbuhan yang sangat cepat). Lama fase eksponensial bervariasi tergantung pada organisme dan komposisi medium, rata-rata berkisar 6 - 12 jam. Fase stasioner adalah fase dimana populasi bersifat stasioner. Terjadinya fenomena ini adalah karena sel kehabisan substrat/nutrien yang diperlukan untuk pertumbuhan, dan pertumbuhan sel-sel baru seimbang dengan kematian sel-sel lama sehingga jumlah sel konstan. Fase kematian adalah fase yang terjadi karena kekurangan nutrisi yang berlanjut. Selama fase ini, kematian bakteri rata-rata melebihi produksi sel-sel baru. Dalam beberapa kasus fase kematian ini merupakan kebalikan dari fase pertumbuhan (Cappucino dan Natalie, 1982).



**Gambar 2.** Kurva Pertumbuhan Bakteri ( Cappucino dan Natalie, 1982)

- Keterangan :
- A : Fase permulaan (aklimatisasi)
  - B : Fase eksponensial (pertumbuhan)
  - C : Fase stasioner
  - D : Fase kematian

Analisis pertumbuhan bakteri menurut Stainer dkk. (1984), dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan mengukur massa sel secara optis yaitu dengan penentuan jumlah cahaya yang dipantulkan oleh suatu suspensi sel bakteri. Teknik ini berdasarkan kenyataan bahwa partikel kecil memantulkan cahaya, dalam batas tertentu, berbanding dengan konsentrasinya. Bila seberkas cahaya melewati suspensi bakteri, pengurangan jumlah cahaya yang dipindahkan sebagai akibat pemantulan itu merupakan ukuran kepadatan sel yang disebut dengan kerapatan optis.



Pertumbuhan bakteri sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah :

1. Nutrien. Nutrien untuk bakteri terdiri atas unsur makronutrien (C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe) dan mikronutrien (Mn, Mo, Zn, Pb, Co, Ni, Cl, Se, Si). Nutrien tersebut dibutuhkan untuk membentuk energi dan komponen-komponen sel.
2. pH. Sebagian besar bakteri (neutrofil) tumbuh baik pada pH 6,0 – 8,0 meskipun ada pula (asidofil) yang memiliki pH optimum 3,0 dan yang lain (alkalofil) memiliki pH optimum 10,5.
3. Suhu. Spesies bakteri yang berbeda membutuhkan suhu optimum yang amat beragam untuk pertumbuhannya. Bakteri psikrofilik tumbuh paling baik pada suhu rendah (15 – 20°C), bakteri mesofilik tumbuh baik pada suhu 30 – 37°C dan bakteri termofilik tumbuh paling baik pada suhu 50 – 60°C. Sebagian besar bakteri bersifat mesofilik, suhu optimum 30°C adalah suhu optimum untuk banyak bakteri yang hidup bebas dan suhu tubuh inang adalah suhu optimum untuk bakteri yang bersimbiosis dengan hewan berdarah panas.
4. Oksigen. Menilik hubungan dengan oksigen maka dapat dibedakan sekurang-kurangnya 3 kelompok bakteri :
  1. Bakteri aerob obligat : bakteri yang mampu menghasilkan energi hanya melalui respirasi dan dengan demikian tergantung pada oksigen.

2. Bakteri anaerob obligat : bakteri yang hanya dapat hidup dalam lingkungan bebas oksigen (oksigen untuk bakteri ini bersifat toksik).
3. Bakteri anaerob fakultatif : bakteri yang tumbuh dengan adanya oksigen udara, jadi bersifat aerotoleran, tetapi bakteri ini tidak dapat memanfaatkan oksigen dan memperoleh energi semata-mata dari peragian.
5. Tekanan Osmotik. Bakteri yang membutuhkan konsentrasi garam tinggi dinamakan halofilik dan yang membutuhkan tekanan osmotik tinggi dinamakan osmofilik (Stainer dkk., 1984; Jawetz dkk., 1996; Schlegel, 1994).

### II.3. Tinjauan Tentang *Bacillus cereus*

Menurut Buchanan dan Gibbons (1974) dalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, *B. cereus* termasuk genera *Bacillus*, organisme bersel tunggal, berbentuk batang pendek (rod) biasanya dalam bentuk rantai panjang. Umumnya mempunyai ukuran lebar 1,0  $\mu\text{m}$  - 1,2  $\mu\text{m}$  dan panjang 3  $\mu\text{m}$  - 5  $\mu\text{m}$ , Gram positif, aerob, suhu pertumbuhan maksimum 37 - 48°C dan minimum 5 - 20°C dan pH pertumbuhan 5,5 - 8,5. *B. cereus* bersifat kosmopolit, suhu pertumbuhan optimum 30°C. *B. cereus* merupakan saprofit ringan yang tidak berbahaya yang lazim terdapat dalam tanah, air, udara, dan tumbuh-tumbuhan serta mampu membentuk endospora yang tahan panas (Salle, 1974; Jawetz dkk., 1996)

#### **II.4. Tinjauan Tentang *Pseudomonas aeruginosa***

Menurut Buchanan dan Gibbons (1974) dalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, *P. aeruginosa* termasuk genera *Pseudomonas*, organisme bersel tunggal, berbentuk batang lurus/melengkung tetapi tidak melingkar. Bakteri ini banyak terdapat dalam tanah, air, sampah dan udara. Motil dengan flagel berjumlah satu, tidak membentuk spora. Diameter sel berukuran  $0,5 \mu\text{m}$  -  $0,7 \mu\text{m}$  dan panjang  $1,5 \mu\text{m}$  -  $3 \mu\text{m}$ , Gram negatif, aerob, bersifat saprofit, suhu pertumbuhan  $4 - 43^{\circ}\text{C}$  dengan suhu pertumbuhan optimum  $37^{\circ}\text{C}$  dan pH pertumbuhan  $7 - 8,5$ .

#### **II.5. Tinjauan Tentang Kadmium**

Berdasar pada sifat fisiknya, kadmium merupakan logam yang lunak, berwarna putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang lembab atau basah serta akan cepat mengalami kerusakan bila dikenai uap amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan sulfur hidroksida ( $\text{SO}_2$ ). Sifat kimia dari logam kadmium antara lain di dalam persenyawaan yang dibentuk pada umumnya mempunyai bilangan valensi  $2^+$ , sangat sedikit yang bervalensi  $1^+$ . Bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion  $\text{OH}^-$ , ion  $\text{Cd}^{2+}$  akan mengalami proses pengendapan dan endapannya berwarna putih (Palar, 1994).

Logam kadmium sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari manusia, misalnya sebagai bahan stabilisator, bahan pewarna dalam industri plastik, pelapisan timah, baterai dan pada elektroplating (Palar, 1994)

Logam kadmium secara alamiah dalam konsentrasi rendah terdapat dalam tanah dan air. Dalam air tanah kadmium biasanya ditemukan dalam sedimen dan dalam bentuk suspensi partikel. Kadmium dalam air terdapat dalam bentuk ikatan  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  dan  $\text{CdCO}_3$  (Friberg dkk., 1979).

Logam kadmium bukanlah nutrisi pokok/penting bagi manusia ataupun organisme yang lain. Juga tidak terdapat dalam tubuh sewaktu lahir, tetapi sedikit demi sedikit terjadi penumpukan karena terpapar dengan kadmium yang terdapat di lingkungan dan mempunyai waktu paruh biologis yang sangat panjang. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kadmium membentuk senyawa kompleks dengan zat organik dalam jaringan tubuh organisme, sehingga cenderung untuk tidak diekskresikan (Waldichuk, 1974).

Lebih lanjut Misra (1992) mengatakan, beberapa logam berat merupakan komponen pada enzim-enzim seluler dan dibutuhkan oleh sel dalam jumlah sedikit, misalnya nikel, kobalt, mangan dan seng. Kelompok logam yang lain yaitu antimony, arsen, bismuth, kadmium, kromium, tembaga, merkuri dan tellurium tidak dibutuhkan oleh bakteri dan mempunyai sifat yang sangat toksik.

Logam kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Suhendrayatna, 2001). Kadmium dapat menimbulkan kerusakan ginjal, anemia dan

gangguan pada tulang yang dikenal sebagai "itai-itai" (Anonim, 2004). Keracunan yang disebabkan oleh kadmium dapat bersifat akut dan kronis (Forstner dan Wittman, 1983).

## II.6. Pengikatan Logam Berat Oleh Bakteri

Berbagai spesies bakteri yang potensial untuk bioakumulasi logam berat dan telah dilakukan penelitian sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Bakteri Pengakumulasi Logam Berat

No	Logam Berat	Bakteri	Referensi
1	Timbal, Kadmium	<i>Citrobacter sp.</i> (Gram negatif)	Poole dan Gadd, 1989
2	Perak	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> (Gram negatif)	Poole dan Gadd, 1989
3	Kadmium	<i>Escherichia coli</i> (Gram negatif)	Sousa <i>et. al.</i> , 1998
4	Uranium	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Gram negatif)	Poole dan Gadd, 1989
5	Kromium	<i>Bacillus subtilis</i> (Gram positif) <i>Microbacterium sp.</i> (Gram positif)	Poole dan Gadd, 1989
6	Strontium	<i>Micrococcus luteus</i> (Gram positif)	Poole dan Gadd, 1989
7	Tembaga	<i>Escherichia coli</i> (Gram negatif) <i>Salmonella sp.</i> (Gram negatif) <i>Citrobacter sp.</i> (Gram negatif)	Williams <i>et. al.</i> , 1993
8	Mercuri, Kadmium, Arsen	<i>Staphylococcus sp.</i> (Gram positif)	Brock <i>et. al.</i> , 1991

Permukaan bakteri Gram positif dan Gram negatif merupakan permukaan yang baik untuk penyerapan kation logam lingkungan air. Hal ini terutama karena sifat anionik dari peptidoglikan dan polimer kedua yang

menyusun permukaan bakteri Gram positif dan karena grup fosforil dari lipopolisakarida yang terdapat pada membran luar bakteri Gram negatif. Secara umum permukaan dinding sel bakteri Gram positif mempunyai kapasitas yang lebih besar untuk mengikat ion logam daripada bakteri Gram negatif (Allen, 1995).

Interaksi kimia antara bakteri dengan logam dapat dibagi menjadi enam proses, yaitu : (1) akumulasi intraseluler, (2) asosiasi antara dinding sel dan logam, (3) interaksi logam dengan 'sidephore', (4) mobilisasi/imobilisasi logam secara ekstraseluler dengan menggunakan metabolit bakterial, (5) interaksi ekstraseluler antara logam polimer, (6) transformasi dan volatilisasi logam (Mitchell, 1992).

Kemampuan mengakumulasi logam berat oleh bakteri disebabkan adanya kemampuan bakteri dalam menurunkan toksisitas logam berat tersebut atau bahkan menghilangkannya. Cara yang dilakukan adalah dengan :

1. Mengeluarkan cairan ekstra seluler yang selanjutnya bereaksi dengan logam berat tersebut dan kemudian logam berat yang ada diendapkan di sekeliling sel dalam bentuk selongsong (Suriawiria, 1993)
2. Logam berat tersebut ikut dalam metabolisme sel bakteri. Logam berat tersebut mengalami proses biotransformasi destruktif berupa reaksi reduksi dan kemudian membentuk molekul organik (Brock *et. al.*, 1991). Adanya kemampuan mengadakan biotransformasi didukung oleh adanya kemampuan bakteri dalam mensintesis enzim adaptif yang mengkatalisis reaksi biotransformasi tersebut (Suriawiria, 1993).

3. Penyerapan logam berat oleh bakteri. Secara umum, terdapat dua jenis penyerapan logam berat oleh bakteri yaitu penyerapan logam yang tidak tergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) yang terjadi pada permukaan sel dan penyerapan logam yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*) yang menyebabkan terakumulasinya logam di dalam sel (Hughes dan Poole, 1990). Gadd (1992) menambahkan bahwa pengambilan logam berat oleh bakteri dapat dipisahkan menjadi fase pengikatan dan transport aktif. Fase pengikatan tidak tergantung pada metabolisme sel, yaitu adsorpsi melalui dinding sel atau permukaan eksternal, kemudian diikuti dengan transport aktif yang tergantung pada metabolisme sel di dalam sel. Adsorpsi adalah proses dimana atom, partikel atau molekul suatu zat terikat pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik dari atom atau partikel pada lapisan bagian luar atau permukaan zat padat. Bagian luar dinding sel bakteri yang bermuatan negatif akan mengikat ion logam berat yang bermuatan positif. Dalam beberapa kasus pengambilan logam berat dapat secara intraseluler sebagai akibat dari kenaikan permeabilitas membran sel, khususnya ketika terjadi toksisitas. Proses pengambilan yang tidak dipengaruhi oleh metabolisme termasuk adsorpsi dapat disebut biosorpsi yang terjadi pada sel yang hidup maupun yang mati.
4. Pengikatan logam berat pada struktur sel bakteri (khususnya dinding sel) (Atlas dan Bartha, 1993). Dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negatif merupakan tempat kontak awal antara sel dengan

lingkungan eksternal. Permukaan sel bakteri menyediakan area permukaan yang besar untuk interaksi dengan ion logam.



## BAB III. METODE PENELITIAN

### III.1. Kerangka Konsep Penelitian

Langkah kerja yang pertama adalah pembuatan starter bakteri yaitu dengan menginokulasi kultur murni *B. cereus* dan *P. aeruginosa* masing-masing sebanyak 1 koloni ke dalam 100 ml medium Zobell yang mengandung Cd 0 ppm, 0,1 ppm; 0,2 ppm dan 0,3 ppm dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu kamar.

Selanjutnya dilakukan uji toleransi bakteri terhadap logam berat kadmium dengan menambahkan starter *B. cereus* dan *P. aeruginosa* sebanyak 5% (v/v) ke dalam 30 ml medium Zobell dengan kadar Cd 0 ppm; 0,1 ppm; 0,2 ppm; dan 0,3 ppm dengan ulangan sebanyak 3 kali. Di-*shaker* pada suhu kamar dan setiap 3 jam diukur kerapatan optisnya dengan spektrofotometer  $\lambda$  580 nm selama 21 jam. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pada konsentrasi Cd 0,3 ppm kedua bakteri dapat hidup sehingga konsentrasi ini yang dipakai untuk uji akumulasi logam berat Cd selanjutnya.

Uji akumulasi logam berat Cd dilakukan dengan menginokulasikan inokulum *B. cereus* sebanyak 5 % (v/v) ke dalam 250 ml medium Zobell kadar Cd 0,3 ppm dengan ulangan sebanyak 5 kali. Di-*shaker* pada suhu kamar selama 24 jam. Perlakuan yang sama dilakukan pada *P. aeruginosa*.

Pengambilan sampel dilakukan setiap 3 jam sekali sebanyak 30 ml untuk pengukuran pertumbuhan (5 ml) dan penentuan kadar logam Cd yang

terserap oleh bakteri (25 ml) yaitu dengan menganalisis kandungan Cd yang tersisa dalam medium dalam setiap sampel dengan menggunakan AAS.

Logam berat dalam penelitian ini terbatas hanya pada jenis logam berat Cd yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia dan dilakukan pada skala laboratorium. Parameter yang diamati adalah pertumbuhan bakteri yaitu dengan mengukur kerapatan optisnya dan akumulasi logam berat Cd oleh bakteri dengan mengukur penurunan konsentrasi Cd dalam medium dengan menggunakan alat AAS.

### **III.2. Variabel Penelitian**

Dalam penelitian ini dilakukan dua tahap penelitian yaitu uji toleransi bakteri terhadap logam berat kadmium dan uji akumulasi logam berat kadmium oleh bakteri. Adapun variabel-variabel yang diukur adalah sebagai berikut :

#### **III.2.1. Uji Toleransi Bakteri Terhadap Logam Berat Kadmium**

Variabel-variabel dalam uji ini antara lain adalah faktor konsentrasi Cd yang ditambahkan pada medium Zobell, jenis bakteri dan masa inkubasi sebagai variabel bebas dan jumlah populasi bakteri pada medium Zobell sebagai variabel tak bebasnya.

#### **III.2.2. Uji Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Variabel-variabel dalam uji ini antara lain adalah masa inkubasi sebagai variabel bebas dan jumlah Cd yang tersisa pada medium Zobell sebagai variabel tak bebasnya.

### **III.3. Waktu dan Tempat Penelitian**

Analisis laboratorium dilakukan pada bulan September – Nopember 2004. Penelitian dilaksanakan di Balai Laboratorium Kesehatan, Semarang dan laboratorium Kimia Anorganik, Jurusan Kimia, FMIPA UNNES.

### **III.4. Alat dan Bahan Penelitian**

#### **III.4.1. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain : tabung reaksi, cawan petri, Erlenmeyer 1000 ml, 500 ml, 100 ml dan 200 ml, gelas ukur, labu ukur 250 ml, gelas piala 1000 ml, autoklaf, inkubator, oven, AAS “Flame” (merk Perkin Elmer Model Analyst 100, Limit deteksi 0,005 mg/L), spektrofotometer (Schimadzu), centrifuge, pH meter, timbangan Sartorius, pipet ukur, pipet tetes, *cryotube*, jarum ose tumpul, mikroskop, rotator, *laminar air flow*.

#### **III.4.2. Bahan Penelitian**

Basal medium yang digunakan sebagai medium pertumbuhan bakteri merupakan modifikasi dari ZoBell 2116 E yang terdiri dari KCl (0,7 g), MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (0,8 g), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (5,4 g), CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (1 g), ekstrak yeast (1 g) dan Bacto-peptone (5 g, Difco Lab) dalam 1000 ml air destilasi, HCl 1%, NaOH 1% (Octavia, 1997). Senyawa kadmium yang ditambahkan ke dalam medium tersebut yaitu larutan kadmium (Merck), sedangkan biakan *B. cereus* ATCC 11778 dan *P. aeruginosa* ATCC 27853 berasal dari Balai Laboratorium Kesehatan, Semarang.

### **III.5. Metode Kerja**

#### **III.5.1. Pembuatan Stok Larutan Standar Kadmium**

Stok larutan standar kadmium yang diperlukan adalah yang berkadar 100 ppm, 10 ppm dan 2 ppm.

Larutan stok kadmium 100 ppm dibuat dengan cara memasukkan 10 ml larutan stok kadmium 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 ml dan ditambah 90 ml HCl 1% dan dihomogenkan.

Larutan stok kadmium 10 ppm dibuat dengan cara memasukkan 1 ml larutan stok kadmium 100 ppm ke dalam labu ukur 100 ml dan ditambah 9 ml HCl 1% dan dihomogenkan.

Larutan standar kadmium 2 ppm dibuat dengan cara memasukkan 1 ml larutan stok kadmium 100 ppm ke dalam labu ukur 50 ml dan ditambah HCl 1 % hingga 50 ml dan dihomogenkan.

#### **III.5.2. Pembuatan Starter Bakteri *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Biakan murni bakteri *B. cereus* dan *P. aeruginosa* sebanyak 1 koloni diinokulasikan ke dalam labu Erlenmeyer yang masing-masing berisi 100 ml medium Zobell cair ditambah kadmium dengan 3 macam konsentrasi ( 0,1 ppm, 0,2 ppm, dan 0,3 ppm) dan kontrol tanpa penambahan kadmium pada pH 7. Diinkubasi selama 24 jam pada suhu kamar. Starter digunakan sebagai inokulum pada saat sel telah mencapai kepadatan  $10^6 - 10^8$  sel/ml yang dihitung dengan metode Hitung Cawan dan dengan menggunakan alat spektrofotometer. Dengan metode Hitung Cawan

dilakukan pengenceran starter  $10^2$  sampai  $10^8$  kali dengan menggunakan medium pengencer 9 ml Zobell cair. Dari tiap pengenceran diambil 1 ml suspensi bakteri dan ditanam pada cawan petri duplo dengan metode tuang. Cara yang kedua adalah dengan menggunakan spektrofotometer, yaitu dilihat kerapatan optisnya pada panjang gelombang 580 nm. Kemudian disesuaikan antara jumlah sel/ml yang didapat dari metode Hitung Cawan dengan hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer (Austin, 1988)

### **III.5.3. Uji Toleransi Bakteri *B. cereus* dan *P. aeruginosa* terhadap Logam Berat Kadmium**

Masing-masing medium yang berupa 30 ml Zobell cair dengan konsentrasi kadmium 0 ppm, 0,1 ppm, 0,2 ppm, dan 0,3 ppm dengan pH 7 ditambah starter sebanyak 5 % (v/v) dengan ulangan sebanyak tiga kali. Dirotator pada suhu kamar. Tiap tiga jam diukur kerapatan optisnya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 580 selama 21 jam. Setelah itu dibuat grafik pertumbuhan dengan sumbu X menunjukkan waktu dan sumbu Y menunjukkan absorban (Austin, 1988). Parameter yang diamati dalam uji ini adalah pertumbuhan *B. cereus* dan *P. aeruginosa* yang ditentukan dengan metode spektrofotometri. Konsentrasi kadmium tertinggi dimana *B. cereus* dan *P. aeruginosa* mampu hidup dan tumbuh akan digunakan untuk pengujian akumulasi logam berat.

Desain penelitian dalam uji toleransi tersaji pada Gambar 3.

Bakteri (A)	1				2			
	-----				-----			
Konsentrasi (B)	1	2	3	4	1	2	3	4
Ulangan	n	n	n	n	n	n	n	n

**Gambar 3.** Desain Unit Percobaan (Uji Toleransi)

Dimana :

Faktor A adalah bakteri terdiri 2 jenis yaitu *B. cereus* dan *P. aeruginosa*

Faktor B adalah konsentrasi Cd medium terdiri 4 taraf yaitu 0 ppm, 0,1 ppm, 0,2 ppm, dan 0,3 ppm

n adalah jumlah ulangan yaitu sebanyak 3 kali

#### **III.5.4. Uji Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Diinokulasikan inokulum *B. cereus* dari starter sebanyak 5 % (v/v) ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 250 ml medium Zobell cair dengan konsentrasi kadmium 0.3 ppm pada pH 7 dengan ulangan sebanyak 5 kali. Kemudian dirotator pada suhu kamar selama 24 jam. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada *P. aeruginosa*.

#### **III.5.4.1. Pengukuran Pertumbuhan Dengan Pengamatan Berat Kering *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Setiap 3 jam kultur yang mengandung *B. cereus* diambil sebanyak 5 ml. Selanjutnya kultur bakteri dimasukkan ke *cryotube* kemudian disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 15 menit dan endapan yang terbentuk diukur berat keringnya. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kultur *P. aeruginosa*.

#### **III.5.4.2. Penentuan Kadar Logam Kadmium Yang Terserap Oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Setiap 3 jam kultur yang mengandung *B. cereus* diambil sebanyak 25 ml. Suspensi bakteri dipisahkan dari biomasanya dengan cara disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 15 menit. Larutan yang terpisah ditentukan konsentrasi logam kadmiumnya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) Flame, untuk mengetahui konsentrasi kadmium yang tidak terserap oleh biomassa atau konsentrasi saat seimbang. Perbedaan antara konsentrasi logam sebelum dan sesudah perlakuan merupakan jumlah ion logam yang terserap oleh biomassa (Hancock dan Mawardi, 1997). Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kultur *P. aeruginosa*.

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap dengan perlakuan 2 jenis bakteri yaitu *B. cereus* dan *P. aeruginosa* dan ulangan 5 kali.

### III.6. Teknik Analisis Data

#### III.6.1. Uji Toleransi Bakteri Terhadap Logam Berat Kadmium

Dalam penelitian ini perlakuan yang diberikan adalah penambahan kadmium dengan empat taraf konsentrasi yaitu sebesar 0 ppm, 0,1 ppm, 0,2 ppm, dan 0,3 ppm. Data pertumbuhan bakteri dianalisis dengan menggunakan Analisis Ragam (Anova) pada taraf kepercayaan 95 % ( $\alpha = 0,05$ ).

Hipotesis :

$H_0$  : Tidak ada perbedaan toleransi pada medium yang mengandung kadmium dengan konsentrasi yang berbeda terhadap pertumbuhan bakteri

$H_1$  : Ada perbedaan toleransi pada medium yang mengandung kadmium dengan konsentrasi yang berbeda terhadap pertumbuhan bakteri..

Setelah F hitung diketahui, untuk dapat menerima atau menolak hipotesis, maka membandingkan  $F_h$  (F hitung) dengan  $F_t$  (F tabel), apabila :

$F_h > F_t$ , maka  $H_0$  ditolak

$F_h < F_t$ , maka  $H_0$  diterima

Atau dapat pula dengan melihat probabilitasnya, yakni :

Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $> 0.05$ , maka  $H_0$  diterima

Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak

#### III.6.2. Uji Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa*

Dalam penelitian ini perlakuan yang diberikan adalah penambahan kadmium dengan konsentrasi 0,3 ppm. Analisis dilakukan dengan



menggunakan bantuan “software” SPSS versi 10 dengan hipotesis sebagai berikut :

$H_0$  : Rata-rata akumulasi kadmium pada *B. cereus* sama dengan rata-rata akumulasi kadmium pada *P. aeruginosa*.

$H_1$  : Rata-rata akumulasi kadmium pada *B. cereus* lebih kecil dari rata-rata akumulasi kadmium pada *P. aeruginosa*.

Data akumulasi logam oleh bakteri dianalisis dengan menggunakan uji Wilcoxon pada taraf kepercayaan 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Setelah Z hitung diketahui, untuk dapat menerima atau menolak hipotesis, maka membandingkan  $Z_h$  (Z hitung) dengan  $Z_t$  (Z tabel), apabila :

$Z_h > Z_t$  , maka  $H_0$  ditolak

$Z_h < Z_t$ , maka  $H_0$  diterima

Atau dapat pula dengan melihat probabilitasnya, yakni :

Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $> 0.05$ , maka  $H_0$  diterima

Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak

### **III.6.3. Hubungan Antara Berat Kering dan Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa***

Untuk mengetahui hubungan antara berat kering dan akumulasi logam berat kadmium oleh *B. cereus* dan *P. aeruginosa* dilakukan uji korelasi parametrik dan untuk mengetahui sifat atau tipe hubungan tersebut dilakukan uji regresi. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan “software” SPSS versi 10 dengan hipotesis sebagai berikut :

**a. Untuk Uji Korelasi :**

$H_0$  : Tidak ada hubungan (korelasi) antara berat kering bakteri dan akumulasi kadmium.

$H_1$  : Ada hubungan (korelasi) antara berat kering bakteri dan akumulasi kadmium.

**b. Untuk Uji Regresi**

$H_0$  : Koefisien regresi antara berat kering dan akumulasi kadmium tidak signifikan.

$H_1$  : Koefisien regresi antara berat kering dan akumulasi kadmium signifikan.

Setelah  $t$  hitung diketahui, untuk dapat menerima atau menolak hipotesis, maka membandingkan  $t_{hit}$  ( $t$  hitung) dengan  $t_{tab}$  ( $t$  tabel), apabila :

$t_{hit} > t_{tab}$  , maka  $H_0$  ditolak

$t_{hit} < t_{tab}$  , maka  $H_0$  diterima

Atau dapat pula dengan melihat probabilitasnya, yakni :

Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $> 0.05$ , maka  $H_0$  diterima

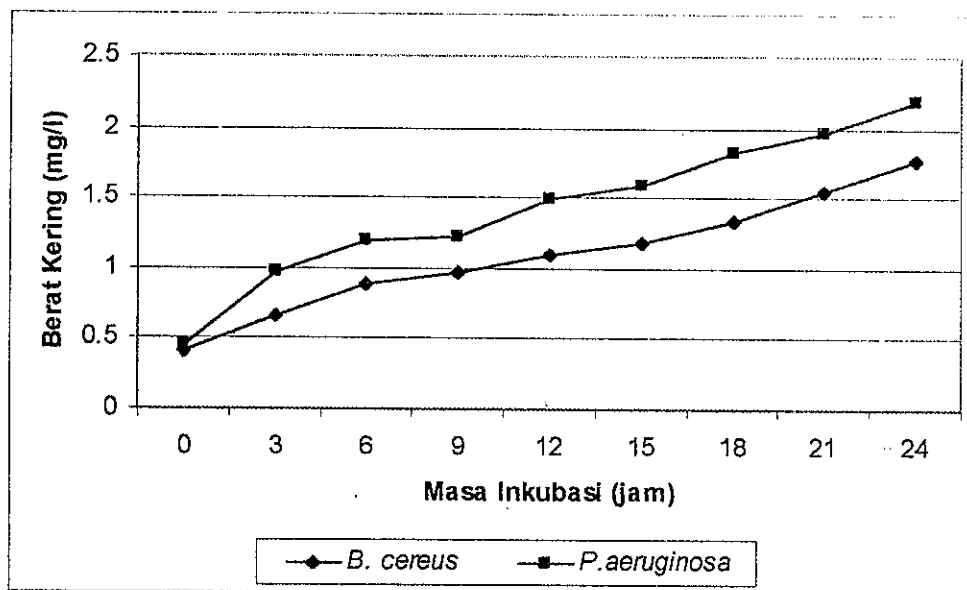
Jika Probabilitas ( $\alpha$ )  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Hasil Penelitian

#### IV.1.1 Pertumbuhan *B. cereus* dan *P. aeruginosa* berdasarkan Berat Kering

Pertumbuhan *B. cereus* dapat diukur dengan pertambahan berat kering selnya per satuan waktu. Hasil penelitian menunjukkan berat kering tertinggi *B. cereus* dicapai pada masa inkubasi 24 jam yaitu sebesar 1.7736 mg/ml sedangkan untuk *P. aeruginosa* sebesar 2.1868 mg/ml (Lampiran 9).



**Gambar 4.** Berat Kering *B. cereus* dan *P. aeruginosa* pada medium dengan konsentrasi Cd 0,3 ppm dalam berbagai masa inkubasi.

Pada Gambar 4. terlihat kedua bakteri menunjukkan trend pertumbuhan yang hampir sama sampai masa inkubasi 24 jam, tetapi *P. aeruginosa* secara konsisten memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan *B. cereus*.

#### IV.1.2 Sisa Logam Berat Kadmium Pada Medium dengan Perlakuan *B. cereus* dan *P. aeruginosa*

Akumulasi Cd oleh bakteri diamati dengan mengukur banyaknya sisa Cd yang terdapat di dalam medium dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) Flame. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Sisa Cd Pada Medium dengan Perlakuan *B. cereus* dan *P. aeruginosa* (mg/l/24 jam)

Bakteri	Sisa Cd pada medium (mg/l/24 jam)	Nilai Uji Wilcoxon (Z hitung)	Probabilitas P(2-tailed)
<i>B. cereus</i>	0.13236 ± 0.0597	0.017*	<0.025
<i>P. aeruginosa</i>	0.07098 ± 0.02294		

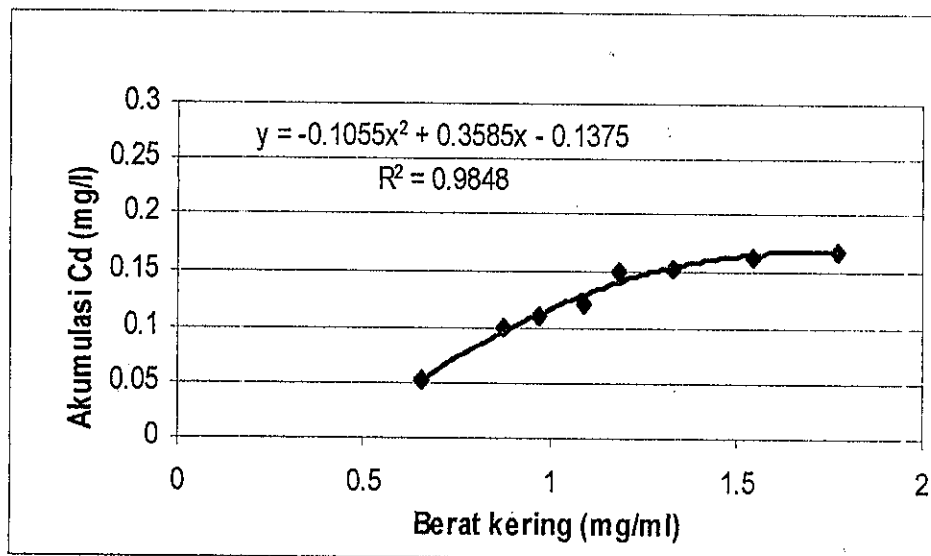
\*) Berbeda nyata pada taraf 95 %

Dari Tabel 3. terlihat bahwa logam berat Cd yang diakumulasi oleh *P. aeruginosa* lebih tinggi dibandingkan dengan *B. cereus*. Hal ini dibuktikan secara statistik menggunakan uji Wilcoxon ( $P < 0.025$ ). Adapun laju akumulasi kadmium pada perlakuan dengan *P. aeruginosa* sebesar 76.34 % per 24 jam sedangkan pada *B. cereus* sebesar 55.88 % per 24 jam (konsentrasi kadmium awal 0.3 ppm).

#### IV.1.3. Hubungan Antara Berat Kering dan Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *B. cereus*

Hubungan berat kering dan akumulasi Cd oleh *B. cereus* berbentuk kurva kuadratik tersaji di dalam Gambar 5. dan diperoleh koefisien korelasi sebesar 0.931 ( $P < 0.05$ ). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa korelasi antara berat kering dengan akumulasi Cd pada *B. cereus* adalah nyata. Hasil uji regresi diperoleh nilai t hitung sebesar 6.239 atau  $P < 0.05$  maka berat kering benar-benar dapat digunakan secara signifikan untuk memprediksi akumulasi Cd atau

sebaliknya dengan persamaan  $y = -0.1055x^2 + 0.3585x - 0.1375$  ( $y$  = akumulasi Cd dan  $x$  = berat kering). Kemampuan optimum dalam mengakumulasi kadmium dicapai pada saat *B. cereus* mencapai berat kering 1.699 mg. Hasil ini didapat dengan menurunkan persamaan kuadrat di atas (Lampiran 11).

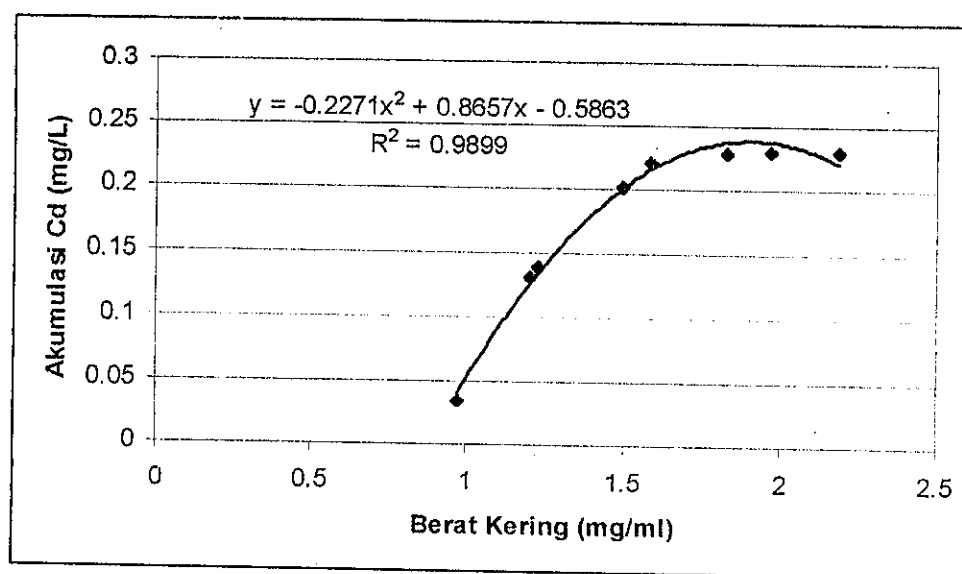


**Gambar 5.** Kurva Regresi Berat Kering dan Akumulasi Cd *B. cereus* pada Medium Dengan Konsentrasi Cd 0.3 ppm

#### IV.1.4. Hubungan Antara Berat Kering dan Akumulasi Logam Berat Kadmium Oleh *P. aeruginosa*

Hubungan berat kering dan akumulasi Cd oleh *P. aeruginosa* berbentuk kurva kuadratik tersaji di dalam Gambar 6, dan diperoleh koefisien korelasi sebesar 0.878 ( $P < 0.05$ ). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa korelasi antara berat kering dengan akumulasi Cd pada *P. aeruginosa* adalah nyata. Hasil uji regresi diperoleh nilai  $t$  hitung sebesar 4.494 atau  $P < 0.05$  maka berat kering benar-benar dapat digunakan secara signifikan untuk memprediksi akumulasi Cd atau sebaliknya dengan persamaan  $y = -0.2271x^2 + 0.8657x - 0.5863$

( $y$  = akumulasi Cd dan  $x$  = berat kering). Kemampuan optimum dalam mengakumulasi kadmium dicapai pada saat *P. aeruginosa* mencapai berat kering 1.906 mg. Hasil ini didapat dengan menurunkan persamaan kuadrat di atas (Lampiran 11).



**Gambar 6.** Kurva Regresi Berat Kering dan Akumulasi Cd *P. aeruginosa* pada Medium Dengan Konsentrasi Cd 0.3 ppm

#### IV.2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan pertumbuhan *P. aeruginosa* pada medium Zobell yang mengandung kadmium dengan konsentrasi 0,3 ppm lebih baik bila dibandingkan dengan *B. cereus* (Gambar 4.). Hal ini mungkin disebabkan karena kedua bakteri ditumbuhkan pada medium universal bukan medium selektif dan ternyata *P. aeruginosa* lebih mampu menggunakan nutrisi yang ada secara optimal untuk metabolismenya. Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya ketersediaan nutrisi dalam medium yang terdiri dari makronutrien (C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe) dan mikronutrien (Mn, Mo, Zn,

Pb, Co, Ni, Cl, Se, Si) (Rascati, 1990). Selain itu juga karena keduanya ditumbuhkan pada suhu kamar ( $27^{\circ}\text{C}$ ) yang bukan merupakan suhu optimal untuk pertumbuhan bagi kedua bakteri tersebut dan ternyata *P. aeruginosa* masih mampu tumbuh secara optimal. Pertumbuhan bakteri dapat terhambat karena adanya logam berat dalam lingkungannya. Kadmium yang merupakan logam berat bersifat racun dan akan menghalangi kerja enzim. Keadaan ini akan turut mempengaruhi proses metabolisme sel yang berakibat pada jumlah sel yang dihasilkan dan hal ini akan berpengaruh terhadap akumulasi logam berat oleh bakteri.

Akumulasi logam berat kadmium oleh bakteri dapat terjadi dengan cara pengikatan logam berat pada struktur selnya. Pengikatan ini dapat terjadi karena interaksi ion logam dengan permukaan sel bakteri. Keadaan ini diduga karena ukuran sel bakteri yang relatif kecil menyebabkan permukaan bidang sentuh menjadi luas, sehingga kemungkinan terjadinya interaksi yang efektif antara ion logam dengan pusat aktif pada permukaan dinding sel bakteri, semakin besar (Mawardi *et.al*, 1997). Kemampuan akumulasi kedua bakteri terhadap logam berat kadmium dikarenakan permukaan dinding sel bakteri baik bakteri Gram positif maupun Gram negatif mempunyai ikatan anion sehingga logam kation akan dengan mudah diadsorpsi (Hoyle dan Beveridge, 1983). Lebih lanjut dikatakan oleh Malekzadeh (2002) bahwa sel bakteri yang utuh, hidup atau mati, dan produk mereka dapat menjadi bioakumulator yang sangat efisien baik untuk bentuk logam yang terlarut maupun partikel. Permukaan sel semua mikroorganisme berarus negatif karena berbagai struktur anion. Hal ini memberikan bakteri kemampuan untuk mengikat kation logam.

Pengikatan logam berat kadmium oleh *B. cereus* yang merupakan bakteri Gram positif terjadi karena adanya sifat anionik dari peptidoglikan dan polimer kedua yang menyusun permukaan selnya. Peptidoglikan merupakan komponen utama dari dinding dan terdiri dari enam komponen berbeda yaitu N-asetilglukosamin, asam N-asetilmuramik, L-alanin, D-alanin, asam D-glutamik dan L-Lysin (Salle, 1974; Pelczar dan Chan, 1986). Allen (1995) menambahkan bahwa batang peptida yang melekat pada sisa asam muramik kaya akan grup karboksil dan memberikan tempat yang sangat reaktif terhadap penyerapan logam. Polimer kedua yang berperan dalam penyerapan logam adalah asam "teichoic" atau asam "theichuronic" yang bersama dengan peptidoglikan merupakan bahan yang paling penting dalam hal kemampuan dinding untuk menyerap ion logam. Asam "teichoic" sendiri merupakan senyawa yang bermuatan negatif kuat dan secara struktural terikat pada peptidoglikan (William *et.al.*, 1995)

Berbeda dengan bakteri Gram positif, pengikatan logam berat kadmium oleh *P. aeruginosa* yang merupakan bakteri Gram negatif melibatkan lapisan peptidoglikan dan membran luar yang terdiri dari struktur bilayer yang terdiri dari fosfolipid pada bagian dalam dan lipopolisakarid pada bagian luarnya. Membran ini merupakan membran pertama yang berhadapan langsung dengan lingkungan luar dan konsekuensinya merupakan pertimbangan terpenting dalam pengikatan logam oleh bakteri Gram negatif (Allen, 1995). Ditambahkan oleh Hughes dan Poole (1989) bahwa pengikatan logam berat oleh bakteri Gram negatif dapat ditemukan pada selubung sel atau pada komponen membran sel di bagian gugus fosfat dari lipopolisakarida. Ternyata bahwa pada bakteri Gram negatif adanya



komponen lipopolisakarida dan peptidoglikan pada dinding sel membentuk tempat pengikatan kationik utama.

Mekanisme deposisi ion logam pada dinding sel bakteri menurut Beveridge dan Murray dalam Allen (1995) melibatkan interaksi stoikiometri antara kation logam dan daerah aktif di dalam dinding. Interaksi ini menyediakan daerah nukleasi untuk deposisi larutan dari logam. Agregat metal tumbuh dalam dinding sampai secara fisik tertahan oleh ukuran inter molekuler di dalam dinding sebagai hasil deposit di dalam dinding tidak mudah dipindahkan oleh air atau diganti oleh proton atau ion logam lain.

Hasil uji akumulasi logam berat kadmium baik oleh *B. cereus* (Gram positif) maupun *P. aeruginosa* (Gram negatif) didapatkan hasil rata-rata sisa kadmium pada medium dengan perlakuan *P. aeruginosa* lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata sisa kadmium pada medium dengan perlakuan *B. cereus* (Tabel 3.). Hal ini dibuktikan dengan uji statistik Wilcoxon dan ternyata rata-rata sisa kadmium pada medium dengan perlakuan yang sama pada kedua bakteri adalah berbeda nyata. Dengan demikian dapat dikatakan bakteri *P. aeruginosa* lebih efektif dalam pengikatan logam berat kadmium meski pada saat awal *B. cereus* lebih efektif dalam mengakumulasi logam berat kadmium (berat kering 0.6532 mg/ml; sisa Cd medium 0.24894 mg/l) dibanding *P. aeruginosa* (berat kering 0.9734 mg/ml; sisa Cd medium 0.26586 mg/l). Adapun laju akumulasi kadmium per 24 jam pada perlakuan dengan *P. aeruginosa* sebesar 76.34 % sedangkan pada *B. cereus* sebesar 55.88 % (konsentrasi kadmium awal 0.3 ppm). Kemampuan optimum dalam mengakumulasi kadmium dicapai pada saat *B. cereus* mencapai berat kering 1.699 mg dengan akumulasi kadmium

sebesar 0.1671 mg/L sedangkan pada *P. aeruginosa* dicapai pada saat berat kering 1.906 mg dengan akumulasi kadmium sebesar 0.2387 mg/L. Menurut Allen (1995) secara umum permukaan dinding sel bakteri Gram positif mempunyai kapasitas yang lebih besar untuk mengikat ion logam daripada bakteri Gram negatif. Hasil penelitian menunjukkan pengikatan kadmium oleh *P. aeruginosa* yang merupakan bakteri Gram negatif ternyata lebih besar dibandingkan dengan *B. cereus* (Gram positif). Fenomena ini kemungkinan juga disebabkan karena kedua bakteri ditumbuhkan pada medium universal dan bukan pada medium selektif. *P. aeruginosa* dapat menggunakan nutrisi yang ada pada medium tersebut secara optimal untuk pertumbuhan dan metabolismenya sedangkan *B. cereus* tidak dapat secara optimal menggunakan nutrisi untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Akibat dari hal tersebut maka kemampuan *B. cereus* untuk membentuk komponen-komponen dinding sel terutama asam "teichoic" menjadi berkurang. Asam "teichoic" merupakan bahan yang paling penting dalam hal kemampuan dinding sel untuk mengakumulasi ion logam. Dikatakan oleh Jawetz *et. al.* (1996), bahwa komposisi asam "teichoic" yang dibentuk oleh suatu jenis bakteri dapat berubah sesuai dengan komposisi perbenihan pertumbuhan. Allen (1995) menambahkan bahwa asam "teichoic" yang merupakan polimer sekunder, keberadaannya dipengaruhi oleh jumlah magnesium dan fosfat yang ada dalam medium. Sel yang ditumbuhkan dalam medium yang mengandung fosfat yang terbatas hanya memiliki asam "teichuronic", tetapi akan membentuk asam "teichoic" secara eksklusif ketika ditumbuhkan dengan fosfat dan magnesium yang cukup. Pada penelitian ini medium yang digunakan hanya mengandung magnesium dan tidak mengandung

fosfat. Oleh karenanya dapat diduga kemampuan *B. cereus* dalam mengakumulasi logam berat kadmium menjadi berkurang.

Efektifitas bakteri sebagai bioakumulator logam berat dipengaruhi oleh berat kering sel yang dihasilkan, populasi yang besar mengakibatkan daya serap terhadap logam berat menjadi tinggi. *P. aeruginosa* lebih efektif sebagai bioakumulator logam berat kadmium karena jumlah sel *P. aeruginosa* lebih banyak daripada *B. cereus* yang disebabkan ukuran *P. aeruginosa* lebih kecil daripada *B. cereus* saat ditumbuhkan dengan perlakuan yang sama. Ukuran sel akan mempengaruhi jumlah sel pada berat kering yang sama misalnya jika ukuran sel suatu bakteri lebih kecil maka jumlah selnya akan lebih banyak dibandingkan dengan bakteri yang selnya berukuran besar.

Ditinjau dari segi yang berkaitan dengan lingkungan maka baik *P. aeruginosa* maupun *B. cereus* keduanya bersifat saprofit sehingga mampu menggunakan bahan-bahan organik yang ada di lingkungannya. *B. cereus* mampu hidup pada suhu lingkungan yang tinggi ( $\pm 48^{\circ}\text{C}$ ) sehingga dapat digunakan pada limbah bersuhu tinggi yang tercemar logam berat kadmium karena bakteri tersebut mampu membentuk endospora yang merupakan alat pertahanan diri dari keadaan yang kurang menguntungkan bagi kehidupannya. Sedangkan *P. aeruginosa* dapat digunakan pada limbah yang tidak bersuhu tinggi yang tercemar logam berat kadmium karena *P. aeruginosa* tidak mampu membentuk endospora.

Pada perkembangan selanjutnya, kedua bakteri baik *P. aeruginosa* maupun *B. cereus* dapat digunakan sebagai bioindikator adanya pencemaran logam berat kadmium di suatu tempat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa bakteri *P. aeruginosa* lebih efektif di dalam mengakumulasi logam berat kadmium dibanding dengan *B. cereus* pada medium Zobell dengan konsentrasi kadmium 0.3 ppm pada pH 7. Hal ini ditunjukkan dari laju akumulasi kadmium oleh *P. aeruginosa* sebesar 76.34 % per 24 jam sedang pada *B. cereus* laju akumulasi kadmium hanya sebesar 55.88 % per 24 jam

#### V.2. Saran

Penelitian ini dapat ditindaklanjuti dengan menggunakan limbah yang tercemar berbagai logam berat secara *in situ* untuk mengetahui keefektifan dari metode bioremediasi dengan menggunakan bakteri *P. aeruginosa* dan *B. cereus*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, E.H. 1995. *Metal Contaminated Aquatic Sediments*. Ann Arbor Oress. Inc  
121 South Main Street, Chelsea, Michigan.
- Anonim, 2004. Mengapa Logam Berat Menjadi Ancaman ?. *Majalah Pusat  
Teknologi Limbah Cair* 10 : 10 - 15
- Atlas, R.M. dan R. Bartha. 1993. *Microbial Ecology: Fundamental and  
Applications*. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. California
- Austin, B. 1988. *Metode-metode Untuk Bakteriologi*. Penerjemah Ratna Siri  
Hadioetomo. PAU IPB-Lembaga Sumber Daya Informasi, IPB – Bogor.
- Bidlack, J. 2002. *Phytoremediation*. ([Http://biology.ucok.edu/personalpages/bidlack/  
pphys/pdf/phytorem.sem.pdf](http://biology.ucok.edu/personalpages/bidlack/pphys/pdf/phytorem.sem.pdf))
- Brock, T.D., M.T. Madigan, J.M. Martinko, dan J. Parker. 1991. *Biology of  
Microorganisms*, seventh edition. Prentice-Hall International, Inc.,  
Wisconsin
- Buchanan, R.E. dan N.E. Gibbons. 1974. *Bergey's Manual of Determinative  
Bacteriology*. The Williams and Wilkins Co. Baltimore.
- Cappucino, J.G. dan N. Sherman. 1987. *Microbiology : A Laboratory Manual*.  
Rockland Community College, State University of New York. The  
Benjamin/Cummings Publishing Company Inc.
- Chansyanah, D. 1998. Biosorpsi Seng Oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*.  
*Jurnal Penelitian Sains Dan Teknologi*. 4 : 121 -130
- Dickinson, N.M., P.T. Andrew, A.W. Shaun, dan W.L. Nicholas. 1992. Acclimation  
of Trees to Pollution Stress : Cellular Metal Tolerance Traits. *Annals of  
Botany*. 70 : 569-572
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Friberg, L. dan Vouk, V.B. 1979. *Hand Book On The Toxicology Of Metals*.  
Elsevier/North-Holland Biomedical Press. Netherlands.
- Forstner, U dan G.T.W Wittman. 1983. *Metal Pollution In The Aquatic  
Environment*. Springer – Verlag. Berlin
- Gadd, G. M. 1992. *Microbial Control of Heavy Metal Pollution*. Cambridge Univ.  
Press.

- Harris, R.O. dan Ramelow, G.J. 1990. Binding of Metal Ions By Particulate Biomass Derivat From *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*. *Environ. Sci-Tech.* 24 : 220 - 227
- Hoyle, B., dan T.J. Beveridge. 1983. Binding of Metallic Ions To The Outer Membrane of *Eschericia coli*. *Appl. & Environ. Microbiology.* 749 - 752
- Hughes, M.N., dan R.K. Poole. 1989. *Metals and Microorganism*. Chapman and Hall. London
- Jawetz, E., J. Melnick, dan E. Adelberg. 1996. *Mikrobiologi Kedokteran*. Penerjemah Edi Nugroho dan R.F. Maulany. Edisi 20. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Malekzadeh, F., A. Farazmand, H. Ghafourian, M. Shahamat. 2002. *Accumulation Of Heavy Metals By A Bacterium Isolated From Electroplating Effluent*. ([www.nbiap.vt.edu/brarg/brasym96/malekzadeh96.htm](http://www.nbiap.vt.edu/brarg/brasym96/malekzadeh96.htm))
- Mawardi, E. Sugiharto, H. Mudjiran dan I.D. Prijambada. 1997. Biosorpsi Timbal Oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Berkala Penelitian Pasca Sarjana, BPPS-UGM.* 10 : 203 - 213
- Misra, T.K. 1992. Heavy Metals, Bacterial Resistances. *In Encyclopedia of Microbiology 2*. Y. Ledenberg (editor). Academic Press. Toronto.
- Mitchell, R. 1992. Microbial Transport of Toxic Metals. *In Environmental Microbiology*. Wiley-Liss. New York. 83 -101
- Octavia, B., 1997. Pemanfaatan Bakteri Untuk Menurunkan Konsentrasi Cemarannya Merkuri. *Jurnal Penelitian Iptek dan Humaniora.* 2 : 9 - 18
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka. Jakarta
- Pelczar, M.J. dan E.C.S. Chan. 1981. *Elements of Microbiology*. Mc. Graw-Hill, Inc. New York.
- Pelczar, M.J. dan E.C.S. Chan. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Penerjemah Ratna Siri Hadioetomo, dkk. Penerbit UI. Jakarta
- Poole, R.K. dan Gadd, G.M. 1989. *Metal-Microbe Interaction*. IRL. Press, Oxford.
- Prentis, S. 1985. *Bioteknologi*. Penerjemah Meggy Thenawidjajaa Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Rascati, R.J. 1990. *Student Study Guide Microbiology*. Wm.C. Brown Publisher

- Salle, A. J. 1974. *Fundamental Principles of Bacteriology*. Seventh Edition. Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Schlegel, H. G. 1994. *Mikrobiologi Umum*. Penerjemah Tedjo Baskoro. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sousa, C., P. Kotrba, T. Ruml, A. Cebolla, dan V. De Lorenzo. 1998. Metalloadsporation by *Escherichia coli* Cells Displaying Yeast and Mammalian Metallothioneins Anchored to the Outer Membrane Protein LamB. *Journal Bacteriology* 180 : 2280-2284
- Stainer, R.Y., E. A., Adelberg dan J. L. Ingraham. 1984. *Dunia Mikroba II*. Penerjemah Agustin Widya Gunawan dkk. Penerbit Bhratara Karya Aksara. Jakarta.
- Sudjana. 1991. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Penerbit Tarsito. Bandung
- Suhendrayatna. 2001. *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme; Suatu Kajian Kepustakaan*. Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering Faculty of Engineering, Kagoshima University 1-21-40 Korimoto. Kagoshima 890-0065, Japan.
- Suriawiria, U. 1993. *Mikrobiologi Air dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*. Penerbit Alumni. Bandung.
- Triadiati, dkk. 1997. Studi Pendahuluan Mengenai Pemanfaatan Mikroba Sungai untuk Menanggulangi Pencemaran Logam Berat di Perairan. *Laporan Penelitian UNDIP. Semarang*.
- Waldichuk. 1974. *Some Biological Concerns In Heavy Metals Pollution Dalam : Pollution And Physiology of Marine Organism*. Vernberg, F. J. and Vernberg, W. B. (Eds) Academic Press. New York.
- William, W.Y., H.J. Blumenthal, T. Hashimoto. 1995. *Kumpulan Soal-Soal Mikrobiologi dan Imunologi*. Alih Bahasa Yulius Effendi. Penerbit Buku Kedokteran. ECG
- Williams, J.R., A.G. Morgan, D.A. Rouch, N.L.Brown dan B.T.O. Lee. 1993. Copper Resistant Enteric Bacteria From United Kingdom and Australian Piggeries. *Appl. Environ Microbiol* 59: 2931-2937.
- Wong, P.K., K.C. Lam, dan C.M. So. 1993. Removal and Recovery of Cu (II) from industrial Effluent by Immobilization Cells of *Pseudomonas putida* II. *Appl. Microbiol. Biotech.* 39 : 127 – 131