

Bioremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dalam Lumpur Lapindo Menggunakan Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*)

Zaimatul Khoiroh

Jurusan Biologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
Jl. Gajayana No. 50 Malang
E-mail :Zaim_finza@yahoo.co.id

Abstrak. Bencana lumpur Lapindo menyebabkan pencemaran logam berat timbal (Pb). Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Hasil uji pendahuluan menunjukkan kadar logam Pb sebesar 3,5 ppm. Sehingga perlu dilakukan upaya pemulihan melalui bioremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) terhadap jumlah total sel bakteri pada proses bioremediasi logam Pb lumpur Lapindo dan kadar logam Pb dalam lumpur Lapindo. Pengukuran kadar logam Pb menggunakan AAS, dan perhitungan jumlah total sel dilakukan menggunakan metode TPC. Campuran bakteri yang digunakan adalah *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* dengan berbagai konsentrasi (0%, 9%, 12%, dan 15%). Proses bioremediasi dilakukan dengan lama inkubasi (0, 20, 30, dan 40 hari). Hasil penelitian menunjukkan, jumlah total sel tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 15%, dengan jumlah sel $6,57 \times 10^{10}$. Persen penurunan kadar logam berat timbal (Pb) tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan mikroba eksogen sebesar 12%, dengan persen penurunan sebesar 65% dari kadar awal logam sebesar 3,5 ppm menjadi 1,21 ppm.

Kata kunci : Bioremediasi, Logam Berat Timbal (Pb), *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*.

PENDAHULUAN

Bencana lumpur Lapindo yang terjadi pada Mei 2006 hingga saat ini masih belum dapat dihentikan. Lumpur yang menyembur tidak hanya menyebabkan tergenangnya pemukiman lahan dan bangunan juga mengandung zat-zat pencemar. Volume lumpur yang sangat banyak membuat pemerintah mengambil langkah untuk mengalirkan lumpur tersebut ke sungai Porong.

Zat-zat pencemar yang ada pada luapan lumpur tentunya dapat membahayakan lingkungan. Zat-zat

pencemar tersebut adalah fenol 5,9 (BAPEDAL PROP JATIM dalam Herawati, 2006) sedangkan baku mutu fenol dari limbah cair bagi kegiatan minyak dan gas serta panas bumi sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup 42/96 adalah 2,0 ppm.

Kadar kadmium (Cd) pada sedimen sungai Porong mencapai 0,2571 ppm, dan pada air sungai Porong mencapai 0,0271 ppm. Kandungan timbal (Pb) pada sedimen sungai Porong mencapai 3,1018 ppm dan 0,6949 ppm pada air sungai Porong, sedangkan menurut Keputusan Menteri Kesehatan no 907/2002,

ambang batas kadmium dalam perairan adalah 0,003 ppm, dan untuk timbal adalah 0,05 ppm (Kholidiyah, 2010). Hasil uji pendahuluan menunjukkan, kandungan logam berat tembaga (Cu) pada lumpur Lapindo sebesar 3,394 ppm sedangkan logam berat timbal (Pb) sebesar 3,50 ppm.

Salah satu pencemar yang perlu diperhatikan adalah timbal (Pb). Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Logam Pb dapat menghambat proses kerja enzim (Fardiaz, 1992). Untuk mencegah pencemaran logam Pb tersebut perlu dilakukan upaya bioremediasi. Bioremediasi adalah penggunaan agen-agen biologik untuk menetralkan tanah dan air tercemar menjadi zat-zat yang tidak berbahaya bagi lingkungan atau kesehatan manusia. Agen-agen biologi yang dipakai dapat berupa enzim, sel-sel mikroba atau tanaman (Waluyo, 2005).

Keberhasilan proses bioremediasi ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya lama inkubasi, konsentrasi mikroba dan nilai pH. Lama inkubasi bergantung pada besar konsentrasi cemar, semakin besar konsentrasi cemar maka semakin lama waktu yang dibutuhkan mikroba untuk mendegradasi bahan pencemar. Konsentrasi mikroba juga mempengaruhi proses bioremediasi logam timbal, semakin tinggi konsentrasi cemar, maka semakin banyak konsentrasi mikroba yang dibutuhkan (Yulia, 2013). Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang besar pada aktivitas mikroba untuk mengatasi limbah logam berat. Aktivitas mikroba dalam mengakumulasi logam cenderung

membutuhkan suasana netral (Ariono, 1996).

Bioremediasi dapat dilakukan dengan mengandalkan mikroba indigen atau dapat ditingkatkan dengan penambahan mikroba eksogen. Selain itu juga dapat digunakan kultur tunggal maupun campuran. Pada penelitian ini percobaan bioremediasi dilakukan dengan menambahkan campuran bakteri yang sudah diketahui berpotensi sebagai penyerap logam berat timbal (Pb).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) terhadap jumlah total sel bakteri pada proses bioremediasi logam Pb lumpur Lapindo dan kadar logam Pb dalam lumpur Lapindo.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juli 2014 di laboratorium fisiologi tumbuhan, laboratorium mikrobiologi jurusan Biologi dan laboratorium instrumentasi jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Alat-alat yang digunakan adalah tabung reaksi, erlenmeyer, cawan petri, bunsen, LAF, inkubator, *Slurry* bioreaktor bioremediasi skala laboratorium, mikropipet, shaker inkubator, bluetipe, hotplate, autoklaf, ose, inkubator, gelas ukur, termometer, pH meter, spektrofotometer, stirer, kuvet, beaker glass dan seperangkat alat uji SSA.

Bahan-bahan yang digunakan adalah media Nutrien Broth (NB), media Nutrien Agar (NA), aquabides, aquades, kapas, kasa, alkohol, air

sampel lumpur Lapindo, inokulan bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*), kertas label, plastik wrap, plastik sterilisasi, alat tulis dan tissue.

a. Pembuatan Kurva Standar Logam Timbal (Pb)

Kurva standar logam timbal Pb yang digunakan sebagai standar analisa logam. Kurva standar logam timbal (Pb) dibuat dari larutan standar logam timbal (Pb) 1000ppm. Larutan kemudian dibuat stok 10 ppm sebanyak 250 ml. Pembuatan larutan stok melalui rumus pengenceran (Mulyono, 2006):

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Berdasarkan perhitungan tersebut kemudian diperoleh larutan Pb yang harus diambil dari larutan stok sebesar 2,5 ml. Kemudian larutan diencerkan dengan menggunakan HNO_3 0,5 M hingga mencapai volume total 250 ml. Larutan kemudian digunakan untuk membuat kurva standar Pb dalam AAS dengan konsentrasi 1, 2, 4, dan 5 ppm.

b. Pengukuran Kadar Logam Timbal (Pb)

Pengukuran kadar logam berat timbal (Pb) dilakukan menggunakan AAS.

c. Peremajaan dan Pembuatan Starter Campuran Bakteri (*Pseudomonas Pseudomallei* Dan *Pseudomonas Aeruginosa*)

Peremajaan isolat bakteri *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan pada media padat miring yaitu *Nutrien Agar* (NA). Diambil 1 ose bakteri dari stok atau koleksi, kemudian distreak pada media NA miring dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

d. Pembuatan Kurva Pertumbuhan Campuran Bakteri (*Pseudomonas Pseudomallei* Dan *Pseudomonas Aeruginosa*)

Setelah campuran bakteri diremajakan, kemudian dibuat inokulum untuk kurva standar bakteri. Diambil masing-masing 1 ose bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) dari regenerasi kemudian diinokulasikan pada 50 mL media NB hasil preparasi, selanjutnya diinkubasi dalam shaker inkubator dengan kecepatan 125 rpm dan temperatur 37°C selama 24 jam.

Dilakukan pengenceran 1/2 sampai 1/16. Kemudian masing-masing pengenceran diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 610 nm. Diambil 1 mL pengenceran dituang ke dalam 9 mL media NB dan dilakukan pengenceran sampai 10^{-10} . Kemudian dari pengenceran 10^{-5} sampai 10^{-10} diambil sebanyak 1 mL ditanam pada media agar cawan dan diinkubasi 24 jam. Hasil dari kurva standar bakteri nantinya akan didapatkan persamaan dari regresi yaitu $Y = ax + b$.

Pembuatan kurva pertumbuhan dapat dilakukan dengan menginokulasi 10% inokulum dalam erlenmeyer 100 mL yang berisi media bercampur lumpur. Setelah dilakukan proses inokulasi, dilakukan inkubasi selama 48 jam dalam shaker inkubator dengan kecepatan 125 rpm dan temperatur 37°C (Ciccyliona, 2012). Setiap 2 jam sekali dilakukan uji kekeruhan menggunakan spektrofotometer.

e. Percobaan Bioremediasi

Percobaan bioremediasi dilakukan dengan menyiapkan sampel air lumpur Lapindo dengan

perbandingan 1:5 atau 1 kg lumpur dalam 5 liter aquades dimasukkan kedalam reaktor yang terbuat dari baskom volume 2 liter, kemudian dimasukkan inokulum bakteri. Campuran ini kemudian diinkubasi selama 20 hari, 30 hari dan 40 hari.

f. Perhitungan % Penurunan Kadar Logam

Penentuan persentase logam berat Pb dengan menghitung daya reduksi (DR) sesuai persamaan (Husain dan Irna, 2005):

$$DR = \frac{C(a) - C(b)}{C(a)} \times 100\%$$

Keterangan :

C(a) = Konsentrasi awal Pb (ppm)

C(b) = Konsentrasi akhir Pb (ppm)

DR = Daya reduksi

g. Perhitungan Jumlah Total Sel

Pertumbuhan bakteri dalam proses biodegradasi lumpur diamati berdasarkan populasi bakteri menggunakan metode angka lempeng total (*Total Plate Count*). Sampel lumpur yang telah diberi perlakuan diambil 1 ml kemudian dilakukan pengenceran hingga 10^{-10} . Mulai pengenceran 10^{-6} sampai 10^{-10} kemudian di tanam pada media NA (Syafrizal, 2010).

h. Analisa Data

Data yang diperoleh bersifat deskriptif dengan angka-angka kuantitatif. Analisis deskriptif kuantitatif disajikan dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul dan diinterpretasikan menggunakan tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

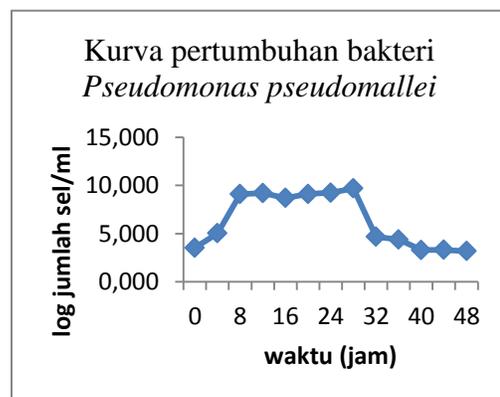
a. Kurva Standar dan Kurva Pertumbuhan Campuran Bakteri

(*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*)

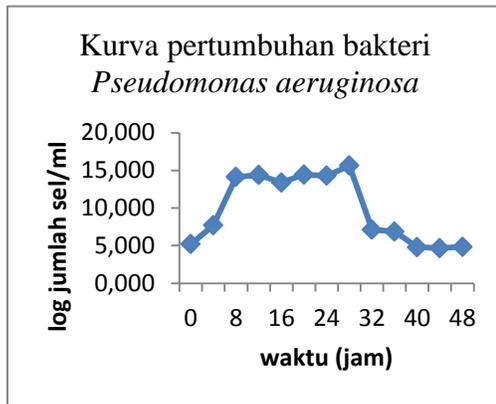
Kurva standar dan kurva pertumbuhan campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) dibuat untuk mengetahui fase eksponensial dan jumlah sel dari campuran bakteri sebelum diinokulasikan pada media lumpur Lapindo.

Berdasarkan hasil absorbansi yang dibandingkan dengan nilai TPC, didapatkan persamaan kurva standar pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yaitu $Y = 1,788x + 1$, sedangkan untuk kurva standar pertumbuhan bakteri *Pseudomonas pseudomallei* di dapatkan persamaan $Y = 1,045x + 1,416$.

Nilai koefisien determinasi R^2 antara nilai OD terhadap jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yaitu 0,893 berarti hubungan antara kekeruhan dan jumlah koloni sebesar 89%. Sedangkan nilai koefisien determinasi R^2 antara nilai OD terhadap jumlah koloni dari bakteri *Pseudomonas pseudomallei* sebesar 0,829, hubungan antara kekeruhan dan jumlah koloni sebesar 82%. Sehingga hubungan antara kekeruhan (OD) dan jumlah koloni kedua bakteri tersebut dinyatakan sangat kuat karena sama-sama mendekati 100%.



Gambar 1. Kurva pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 2. Kurva pertumbuhan bakteri *Pseudomonas pseudomallei*

Berdasarkan kurva tersebut diketahui bahwa fase adaptasi kedua bakteri dimulai dari 0-4 jam, fase eksponensial terjadi pada jam ke-8 sampai jam ke-14. Pada jam ke-16 hingga jam ke-24 bakteri memasuki fase stasioner, setelah itu bakteri memasuki fase kematian pada jam ke-26.

b. Pengaruh Lama Inkubasi dan Konsentrasi Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*)

Tabel 1 Perhitungan jumlah sel mikroba selama proses bioremediasi logam berat timbal (Pb) dalam lumpur Lapindo

Konsentrasi Bakteri	Jumlah Total Sel Mikroba (CFU/ml)		
	20 Hari	30 Hari	40 Hari
0%	6×10^8	$1,72 \times 10^{10}$	$2,43 \times 10^{10}$
9%	$7,85 \times 10^8$	$5,16 \times 10^8$	$2,32 \times 10^{10}$
12%	$3,5 \times 10^8$	$1,27 \times 10^8$	$4,28 \times 10^{10}$
15%	$2,1 \times 10^8$	$2,08 \times 10^8$	$6,57 \times 10^{10}$
Jumlah	$1,945 \times 10^9$	$8,53 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^{11}$
Rata-Rata	$4,86 \times 10^8$	$2,13 \times 10^9$	$3,9 \times 10^{11}$

Waktu inkubasi 30 hari menunjukkan jumlah total sel rata-rata mencapai $2,134 \times 10^9$ CFU/ml, jumlah sel tertinggi terdapat pada perlakuan 0%. Hal ini mungkin dikarenakan mikroba yang terdapat pada lumpur Lapindo dapat memperbanyak diri

Terhadap Jumlah Total Sel Mikroba

Jumlah sel dari inokulum campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) yang diinokulasikan pada media percobaan dengan konsentrasi 9%, 12%, dan 15% sebesar $1,16 \times 10^8$ CFU/ml. berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa, setelah inkubasi 20 hari jumlah total sel sebesar 6×10^8 CFU/ml.

Pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) dengan konsentrasi 9% menunjukkan, jumlah total sel paling tinggi dibanding perlakuan yang lain yaitu sebesar $7,85 \times 10^8$ CFU/ml. Perlakuan dengan konsentrasi campuran bakteri 12% jumlah total sel yang mampu tumbuh mencapai $3,5 \times 10^8$ CFU/ml. Sedangkan pada perlakuan dengan konsentrasi campuran bakteri 15% jumlah total sel yang mampu tumbuh sebesar $2,1 \times 10^8$ CFU/ml.

dengan mudah karena tidak perlu menyesuaikan diri dengan lingkungannya lagi. Seperti yang dinyatakan.

Perlakuan pada waktu inkubasi 40 hari menunjukkan jumlah total sel semakin meningkat, dengan rata-rata peningkatan mencapai $3,9 \times 10^{10}$

CFU/ml. Peningkatan tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 15%, hal ini menunjukkan bahwa campuran bakteri mampu tumbuh dengan baik pada media lumpur Lapindo yang mengandung logam berat timbal (Pb). Menurut Udiharto dan Sudaryono (1999), dalam bioremediasi penggunaan mikroorganisme *indigenous* (indigen) saja masih belum maksimum sehingga diperlukan inokulasi mikroorganisme *exogenous* (eksogen) yang merupakan kultur campuran beberapa jenis bakteri atau jamur yang potensial dalam mendegradasi pencemar tersebut.

Perbedaan pertumbuhan pada masing-masing perlakuan disebabkan karena proses adaptasi yang berbeda-beda. Bakteri akan menunjukkan perbedaan pola pertumbuhan, periode waktu yang dibutuhkan untuk tumbuh maupun beradaptasi, dan metabolit yang dihasilkan (Yuliana, 2008).

c. Pengaruh Konsentrasi Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) Terhadap Kadar Logam Timbal dalam Lumpur Lapindo

Berdasarkan tabel 2, pengaruh campuran bakteri terhadap persentase penurunan logam berat timbal (Pb) diketahui bahwa, perlakuan yang memberikan persen penurunan paling tinggi adalah dengan penambahan campuran bakteri dengan konsentrasi 12%. Penurunan logam berat timbal ini dikarenakan adanya bakteri yang

mampu mengadsorpsi logam berat pada dinding selnya.

Persen penurunan logam berat timbal (Pb) terendah terdapat pada perlakuan kontrol. Penurunan logam berat timbal (Pb) pada kontrol lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan dengan penambahan campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*), disebabkan karena mungkin sampel lumpur Lapindo yang digunakan tidak disterilkan terlebih dahulu, sehingga memungkinkan mikroba indigen dapat tetap hidup. Adanya mikroba indigen pada lumpur Lapindo ini dibuktikan dari hasil TPC, pada akhir perlakuan jumlah total sel sebesar $2,43 \times 10^{10}$ CFU/ml.

Mikroba indigen yang mampu tumbuh dalam media tercemar logam berat mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat dalam dinding selnya. Penelitian Sholikhah (2013) menggunakan isolat bakteri *Bacillus* S1, SS19, dan DA11 yang diisolasi dari Kalimas Surabaya yang tercemar merkuri menyatakan, bioakumulasi merkuri yang tertinggi adalah *Bacillus* S1 sebesar 89 % (12 jam inkubasi) dan 90 % (24 jam inkubasi) *Bacillus* SS19 sebesar 60 % (12 jam inkubasi) dan 37 % (24 jam inkubasi), serta *Bacillus* DA11 sebesar 56% (12 jam inkubasi) dan 32 % (24 jam inkubasi). Ion logam bermuatan positif, sehingga secara elektrostatis akan terikat pada permukaan sel (Langley & Baveridge, 1999).

Tabel 2 Pengaruh campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) terhadap logam berat timbal (Pb) pada lumpur Lapindo

Konsentrasi Campuran Bakteri	Perlakuan		% Penurunan
	Lama Inkubasi (Hari)	Kadar Logam Timbal (Pb) (ppm)	
0%	0	3,50	51%
	20	1,37	
	30	0,96	
	40	1,73	
9%	0	3,50	59%
	20	1,79	
	30	1,06	
	40	1,42	
12%	0	3,50	65%
	20	1,29	
	30	1,12	
	40	1,21	
15%	0	3,50	59%
	20	1,08	
	30	1,03	
	40	1,45	

Hal ini seperti yang terjadi pada penelitian Umroh (2011), terjadinya degradasi pada kontrol dikarenakan sampel media yang digunakan pada penelitian adalah sedimen dan air laut yang tidak disterilasi sehingga memungkinkan bakteri indigenous tetap hidup. Bakteri indigenous mendegradasi hidrokarbon karena bakteri tersebut mampu menghasilkan enzim pendegradasi hidrokarbon. Enzim tersebut berfungsi sebagai biokatalisator pada proses biodegradasi (Atlas dan Bartha (1987) dalam Pagoray (2009)). Mekanisme biosorpsi oleh mikroba yang mampu hidup pada lingkungan yang tercemar logam timbal adalah *active uptake*. Mekanisme ini terjadi secara simultan sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme (akumulasi intraseluler ion logam)

(Suhendrayatna, (2001) dalam Fakhruddin (2008)).

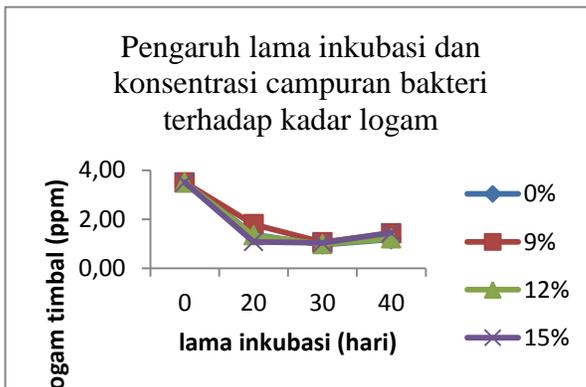
Perlakuan dengan penambahan campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) dengan konsentrasi 9%, memiliki persen penurunan yang sama dengan perlakuan yang ditambahkan campuran bakteri pada konsentrasi 15%. Hal ini mungkin dikarenakan kemampuan dalam mereabsorpsi logam berat semakin menurun, karena populasi mikroba terlalu tinggi sehingga terjadi kompetisi untuk memperoleh nutrisi yang ada, sehingga proses biosorpsinya rendah.

Jumlah populasi mikroba yang meningkat, dapat menimbulkan kompetisi antar mikroorganisme. Bentuk kompetisi ini dapat berupa kompetisi dalam merebut ruang air dan unsur-unsur hara (Nainggolan, 2008).

Akibat kompetisi tersebut kerjasama antar bakteri menjadi menurun (Miwada, 2006).

d. Pengaruh Lama Inkubasi dan Konsentrasi Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) Terhadap Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Lumpur Lapindo

Gambar 3 menunjukkan grafik kadar logam berat timbal (Pb) selama proses bioremediasi. Pada 0 hari inkubasi kadar logam berat timbal (Pb) mula-mula sebesar 3,5 ppm. Inkubasi 20 hari kadar logam berat timbal (Pb) mengalami penurunan pada semua perlakuan hingga di bawah 2 ppm. Inkubasi 30 hari kadar logam berat timbal (Pb) yang terdapat pada lumpur Lapindo semakin mengalami penurunan hingga 1 ppm. Hal ini berarti biosorpsi dari campuran bakteri yang terdapat pada media percobaan kemampuannya meresorpsi logam berat timbal (Pb) tinggi.



Gambar 3. Pengaruh lama inkubasi dan konsentrasi campuran bakteri terhadap kadar logam

Kadar logam berat timbal (Pb) setelah inkubasi 40 hari, mengalami kenaikan dibandingkan kadar logam berat timbal (Pb) pada waktu inkubasi 30 hari. Peningkatan kadar logam berat timbal (Pb) ini mungkin diakibatkan

karena kondisi media percobaan yang mengalami pemekatan akibat penguapan pengencer atau akuades. Kadar Pb kemungkinan akan mengalami penurunan akibat pengenceran, sedangkan apabila terjadi penguapan air kadar Pb akan meningkat karena adanya pemekatan (Komari, 2013).

Kemampuan biosorpsi dari campuran bakteri juga menentukan kadar logam timbal (Pb) yang ada pada media percobaan. Terlalu lama waktu inkubasi menyebabkan, kemampuan biosorpsi dari bakteri mengalami penurunan atau bakteri telah mengalami titik kejenuhan, sehingga kecenderungan bakteri untuk mengikat logam berat timbal (Pb) yang berada disekitarnya berkurang bahkan bakteri cenderung mengeluarkan kembali logam berat yang telah diabsorpsi.

Kemampuan tumbuh makhluk hidup dalam lingkungan yang terkontaminasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya proses fisikokimia seperti penyerapan (*sorption*) dan pengeluaran kembali (*desorption*), difusi, dan *dissolution* (Boopathy, 2000). Bila lingkungan terlalu panas, dingin, basah, kering, asam atau basa maka proses bioremediasi berjalan lambat bahkan terhenti, Bioremediasi juga terbatas karena perlakuan waktu (Waluyo, 2005).

e. Pengaruh pH Media Terhadap Kadar Logam Lumpur Lapindo

Data pada tabel 3 menunjukkan nilai pH awal perlakuan rerata sebesar 7,84. Setelah masa inkubasi 20 hari pH media meningkat menjadi 8,33, kemudian menurun lagi pada waktu inkubasi 30 hari menjadi 7,17, dan pada akhir perlakuan menjadi 8,21.

Tabel 3 Nilai pH selama perlakuan

Konsentrasi	Derajat Keasaman (pH)			
	0 Hari	20 Hari	30 Hari	40 Hari
0%	8.190	8.27	7.23	8.16
9%	7.790	8.265	7.195	8.22
12%	7.910	8.435	7.145	8.17
15%	7.465	8.355	7.125	8.29
Jumlah	31.355	33.325	28.695	32.840
Rata-Rata	7.83875	8.33125	7.17375	8.21

Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang besar pada aktivitas mikroba untuk mengatasi limbah logam berat (Ariono, 1996). Naik turunnya pH pada media perlakuan menyebabkan proses biosorpsi logam timbal oleh bakteri juga mengalami naik turun. Menurut Mallick dan Rai (1993) menyebutkan, pada pH basa ion logam secara spontan akan bereaksi dengan ion hidroksida membentuk ikatan logam-hidroksida, sedangkan pada pH asam akan terjadi persaingan antara ion logam dengan ion H⁺ untuk berikatan dengan dinding sel mikroba. Hal ini yang menyebabkan akumulasi logam dalam sel mikroba pada pH netral lebih besar dibandingkan dengan pH asam maupun basa (Ariono, 1996).

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah jumlah total sel mikroba tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 15% sebesar $6,57 \times 10^{10}$ CFU/ml. Jumlah sel terendah terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 9% dengan jumlah sel $2,32 \times 10^{10}$ CFU/ml. Persen penurunan kadar logam berat timbal (Pb) tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 12%, dengan persen penurunan sebesar 65%. Persen penurunan terendah terdapat pada perlakuan dengan penambahan campuran bakteri sebesar 0% dengan persen penurunan 51%.

SARAN

Sebaiknya sampel disterilkan terlebih dahulu supaya potensi dari campuran bakteri *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* dapat diketahui dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariono, David. 1996. Bioremediasi Logam Berat di Lingkungan Perairan dengan Bantuan Mikrobial. *Biota*. Vol. 1 (2)
- Boopathy, R. 2000. Review Paper Factors Limiting Bioremediation Technologies. *Biosources Thecnology*. Elsevier. Vol.74. No. 63-67
- Ciccyliona, D.Y dan Refdinal Nawfa. 2012. Pengaruh pH Terhadap Produksi Biosurfaktan oleh Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Lokal. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol. 1, No. 1

- Fakhrudin, M., Yoga P Gunawan., Ridwansyah Iwan, Rustini Hadid Agita. 2008. Pengembangan Model Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Barong, KALTIM. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV*
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Udara dan Air*. Yogyakarta: Kanisius
- Herawati, Niniek. 2007. Analisis Risiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo ke Badan Air (Studi Kasus Sungai Porong dan Sungai Aloo - Kabupaten Sidoarjo). *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Husain, Dirayah dan Irna Haemi Muchtar. 2005. Bakteri Pengkompleks Logam Pb Dan Cd Dari Limbah Cair PT. Kawasan Industri Makassar. Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Hasanuddin. *Marina Chimica Acta*. Vol. 6 No. 1 Hal. 25-28 ISSN 1411-2132.
- Kholidiyah, Noviana. 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* Solms) Sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. *Skripsi*. UIN Malang
- Langley, S., Beveridge, T.J. 1999. Effect of O-Side Chine Lipopolysaccharide Chemistry on Metal Binding. *Appl Environ Microbiol* 65: 489-498
- Mallick, N., and L.C. Rai. 1993. Influence of Culture Dencity, pH Organic Acids and Divalent Cations on The Removal of Nutrients and Metal by Immobilized Anabaena Doliolum and Chlorella Vulgaris. *World Journal of Microbiol & Biotech*. Vol.9 No. 196-201
- Miwada, I N S., Lindawati S A., Tatang W., 2006. Tingkat Efektivitas “Starter” Bakteri Asam Laktat pada Proses Fermentasi Laktosa Susu. *J.Indon.Trop.Anim.Agric*. Vol. 1. No. 31
- Mulyono, H. 2006. *Kamus Kimia*. Jakarta : Bumi Aksara
- Pagoray H. 2009. Biostimulasi dan Bioaugmentasi untuk Bioremediasi Limbah Hidrokarbon Secara Analisis Keberlanjutan. *Disertasi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Sholikah, Umi., Kuswyasar Nengah Dwianita. 2013. Uji Potensi Genera Bacillus Sebagai Bioakumulator Merkuri. Surabaya : ITS
- Udiharto, M., dan Sudaryono. 1999. Bioremediasi Terhadap Tanah Tercemar Minyak Bumi Parafinik dan Aspak. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah dan Pemulihan Kerusakan Lingkungan-BPPT*, Jakarta. 121-132.
- Waluyo, Lud. 2005. *Mikrobiologi Lingkungan*. Malang : UMM Press
- Yulia, Rizki Lusiana. 2013. Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Skripsi* . Suarabaya : ITS
- Yuliana, Neti. 2008. Kinetika Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat Isolat T5 Yang Berasal dari Tempoyak. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. Vol 13. No. 2