

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 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. Hasil pengukuran tingkat kekeruhan (OD) dan perhitungan koloni bakteri disajikan pada lampiran 2. Berdasarkan hasil penelitian kurva standar campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) disajikan pada lampiran 3 dan 4.

Kurva standar merupakan metode perhitungan tidak langsung, bakteri dihitung berdasarkan tingkat kekeruhan (OD) pada absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang tertentu terhadap koloni yang ditumbuhkan dalam media agar plate count (TPC). Jumlah koloni yang tumbuh pada pengenceran 10^8 , kemudian di regresikan terhadap nilai absorbannya pada panjang gelombang 610 nm, dengan persamaan regresi $Y = aX + b$.

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%. Perhitungan R^2 masing-masing bakteri dari SPSS 16 dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4.

Bakteri ataupun mikroorganisme lainnya termasuk salah satu ciptaan Allah SWT yang unik untuk diteliti, mulai dari habitatnya yang kosmopolit, proses pertumbuhannya yang dapat diamati dalam waktu yang relatif singkat, hingga manfaatnya bagi kehidupan manusia. Seperti yang tertera pada firman Allah SWT dalam surat Yunus ayat 61 yang berbunyi :

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْءَانٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦١﴾

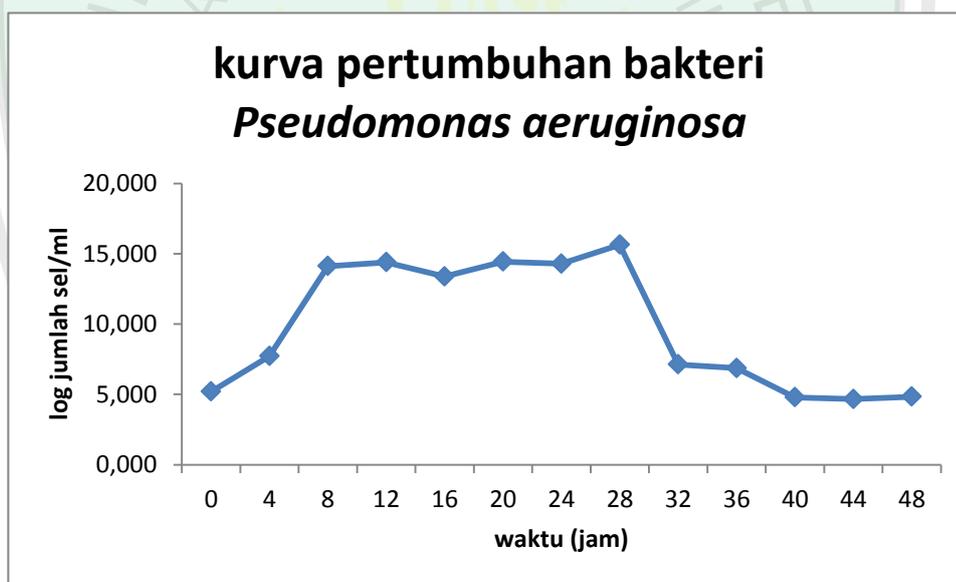
Artinya :

“ *Kamu tidak berada dalam suatu keadaan dan tidak membaca suatu ayat dari Al Quran dan kamu tidak mengerjakan suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atasmu di waktu kamu melakukannya. Tidak luput dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah (atom) di bumi ataupun di langit. Tidak ada yang lebih kecil dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh) (Qs. Yunus (10) : 61).*

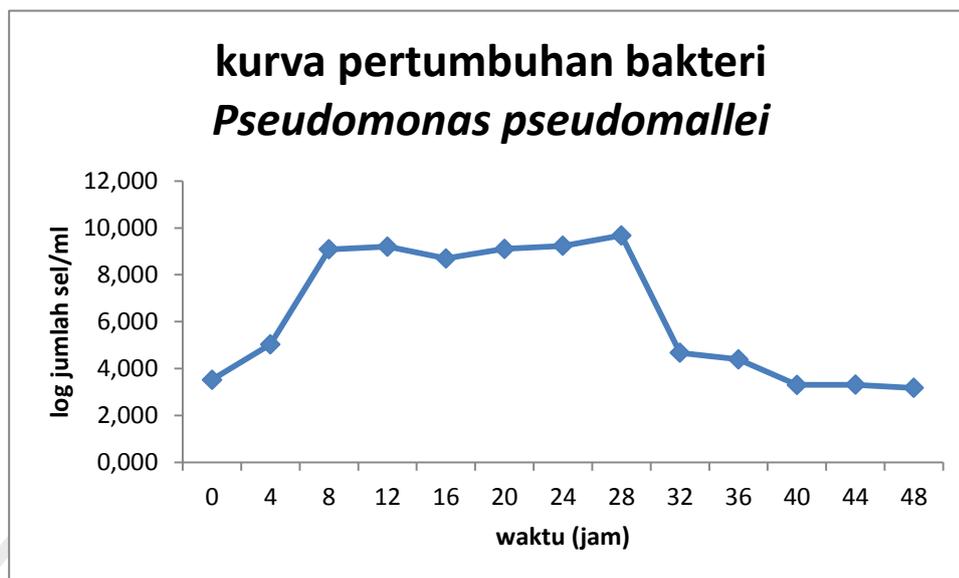
Konsep zarah sebagai wujud zat atau substansi materi yang paling kecil yang disebutkan dalam Al-Qur'an merupakan petunjuk untuk mempelajari mikroorganisme dan materi mikrokosmos lainnya. Konsep sel sebagai materi fungsional terkecil ternyata dapat dipatahkan oleh adanya mikroorganisme. Mikroorganisme sebagai organisme sel tunggal merupakan bukti adanya materi

fungsional di bawah sel. Itulah materi zarah, Al-Qur'an menunjuk pada konsep zarah sebagai materi terkecil, dengan demikian masih ada substansi potensial dalam suatu zat yang lebih kecil dari sel (Subandi, 2010).

Setelah diperoleh persamaan dari kurva standar bakteri, kemudian dilakukan pembuatan kurva pertumbuhan bakteri. Tujuan dari pembuatan kurva pertumbuhan bakteri adalah untuk mengetahui fase kesponensial dan jumlah sel dari campuran bakteri yang digunakan sebelum diinokulasikan pada lumpur Lapindo. Kurva pertumbuhan bakteri *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* disajikan pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Kurva pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 4.2 Kurva pertumbuhan bakteri *Pseudomonas pseudomallei*

Berdasarkan kurva pertumbuhan tersebut diketahui bahwa pola pertumbuhan dari campuran bakteri *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* mempunyai pola pertumbuhan yang serupa yaitu fase adaptasi terjadi pada jam ke-0 hingga jam ke-4, dilanjutkan dengan fase logaritmik atau fase eksponensial pada jam ke-8 hingga jam ke-14, setelah itu bakteri mulai memasuki fase stasioner yang ditandai dengan pertumbuhan sel bakteri yang hampir konstan atau mengalami pertumbuhan yang sangat sedikit dan cenderung mengalami penurunan jumlah sel yaitu pada jam ke-16 hingga jam ke-24. Kemudian bakteri mulai memasuki fase kematian yang dimulai pada jam ke-26.

Berdasarkan kurva pada gambar 4.1 dan 4.2 tersebut, diketahui bahwa jumlah sel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebesar $1,42 \times 10^9$ sel/ml. Sedangkan pada bakteri *Pseudomonas pseudomallei* jumlah selnya sebanyak $9,08 \times 10^8$ sel/ml.

4.2 Pengaruh Lama Inkubasi, dan Konsentrasi Campuran Bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) Terhadap Jumlah Total Sel Mikroba

Penelitian ini dilakukan dengan mencobakan berbagai waktu inkubasi untuk mengetahui pertumbuhan dari jumlah total sel yang mampu tumbuh dan mengabsorpsi logam timbal (Pb) dalam tubuhnya. Menurut Yulia (2013), semakin besar konsentrasi cemaran maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan mikroba untuk mendegradasi senyawa polutan. Pengamatan pertumbuhan mikroba indigen dan eksogen dilakukan dengan metode TPC. Hasil perhitungan jumlah sel mikroba selama proses bioremediasi logam berat timbal (Pb) dalam lumpur Lapindo disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 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	$4,86 \times 10^8$	$2,13 \times 10^9$	$3,9 \times 10^{11}$

Jumlah sel dari inokulum campuran bakteri (*Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa*) yang diinokulasikan pada media percobaan dengan konsentrasi bakteri 9%, 12%, dan 15% sebesar $1,16 \times 10^8$ CFU/ml. Pada inkubasi 0 hari, jumlah sel dari mikroba indigen tidak dihitung terlebih dahulu. Perhitungan jumlah total sel mikroba mulai dilakukan pada waktu inkubasi 20 hari.

Berdasarkan tabel 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa, setelah inkubasi 20 hari, jumlah sel pada perlakuan 0% menunjukkan 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.

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 dengan mudah karena tidak perlu menyesuaikan diri dengan lingkungannya lagi. Seperti yang dinyatakan Arief (2010), bakteri indigen adalah bakteri yang berasal dari habitatnya sendiri sehingga kondisi lingkungannya sesuai dengan syarat hidupnya, bakteri tersebut dapat tetap tumbuh dan berkembangbiak atau memperbanyak diri dengan mudah karena tidak perlu menyesuaikan diri lagi dengan lingkungannya.

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 *indigenus* (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). Panjang atau pendeknya waktu adaptasi sangat ditentukan oleh jumlah sel yang diinokulasikan, kondisi fisiologis dan morfologis yang sesuai serta media kultivasi yang dibutuhkan (Scragg (1991) dalam Fardiaz (1987)). Kelompok bakteri pendegradasi membentuk pola pertumbuhan yang berfluktuasi. Fluktuasi ini terjadi sebagai akibat terjadinya suksesi dalam ekosistem (Nugroho, 2006).

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

Penelitian bioremediasi logam berat timbal (Pb) dalam lumpur Lapindo ini menggunakan campuran bakteri dengan berbagai konsentrasi atau ukuran tertentu. Pemberian berbagai konsentrasi bakteri ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi mana yang optimum menunjang pertumbuhan campuran bakteri serta mempunyai daya resorpsi logam timbal (Pb) yang tinggi.

Allah SWT berfirman di dalam Al-Qur'an surat Al-Qomar ayat 49 yang berbunyi :

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

Artinya :

“*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.*” (Qs. Al-Qomar (54) : 49)

Ayat tersebut menjelaskan bahwasannya Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu itu sesuai dengan ukuran masing-masing. Dia menetapkan suatu ukuran dan memberikan petunjuk terhadap semua makhluk kepada ketetapan tersebut (Ghoffar, 2004). Hal ini juga menyiratkan bahwasannya pada konsentrasi atau ukuran tertentu bakteri dapat menurunkan kadar logam timbal dalam proses bioremediasi. Pengaruh campuran bakteri terhadap logam berat timbal (Pb) pada lumpur Lapindo disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 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	

Berdasarkan tabel 4.2 tersebut 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. Hughes dan Poole (1989) menyatakan bahwa, mikroorganisme dapat menghilangkan logam berat melalui proses adsorpsi, produksi senyawa ekstraseluler atau sintesis enzimatis.

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 Sholikah (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 & Beveridge, 1999). Interaksi antara ion logam dan dinding sel bakteri *Bacillus* sp., menunjukkan adanya peranan gugus karboksil pada peptidoglikan dan gugus fosforil pada polimer sekunder asam teikonat dan teikuronat (Loyd, 2002).

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 disterilisasi 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 Fakhrudin (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 *Pseudomonas pseudomallei* dan *Pseudomonas aeruginosa* konsentrasi 15%. Hal ini mungkin dikarenakan kemampuan dalam mereabsorpsi logam berat semakin menurun, karena populasi mikroba di dalam media percobaan terlalu

tinggi sehingga terjadi kompetisi untuk memperoleh nutrisi yang ada, sehingga proses biosorbsinya 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). Charlena (2010) menyatakan, adanya peningkatan jumlah sel bakteri dikarenakan adanya bakteri yang dapat hidup namun tidak secara efektif menggunakan hidrokarbon sebagai sumber makanannya.

Kemampuan biosorpsi dari mikroba dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah golongan bakteri gram positif atau negatif. Bakteri gram negatif umumnya lebih toleran terhadap pengaruh logam berat dibandingkan bakteri gram positif karena struktur dinding selnya yang kompleks dimana dapat mengikat dan mengimobilisasi sebagian besar ion logam termasuk Pb^{2+} . Logam-logam tersebut terikat pada gugus karboksil pada rantai peptida dan peptidoglikan dan gugus fosfat dari lipopolisakarida. Demikian pula dengan adanya plasmid pada bakteri yang dapat menyebabkan bakteri resisten terhadap logam berat (Hughes dan Poole, 1989).

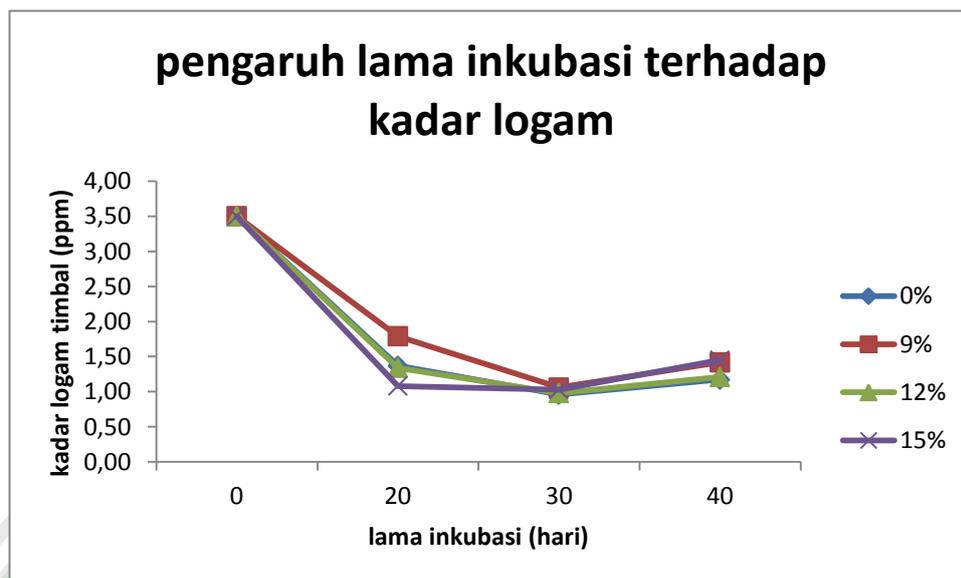
Menurut Gadd (1993) menyatakan, bahwa bakteri yang resisten (tahan) terhadap logam berat disebabkan kemampuan untuk mendetoksifikasi pengaruh logam berat dengan adanya protein atau materi granuler seperti polifosfat di dalam sel yang mampu mengikat Pb.

Secara umum mikroba mengurangi bahaya pencemaran logam berat dengan cara detoksifikasi (biopresipitasi), biohidrometalurgi, bioleaching, dan bioakumulasi. Bioakumulasi merupakan cara yang paling umum digunakan oleh mikroba untuk menangani limbah logam berat. Pada prinsipnya bioakumulasi merupakan pengikatan ion-ion logam pada struktur sel mikroba. Pengikatan ini disebabkan oleh beberapa macam cara, yaitu : sistem transport aktif kation, ikatan permukaan, dan mekanisme lain yang tidak diketahui. Mekanisme pengikatan di atas tidak lepas dari karakter anion dan sifat fisikokimia dari dinding sel, sehingga ion logam berat (kation) mampu diikat secara adesi (Atlas dan Bartha, 1993).

Mekanisme biosorpsi logam berat dengan biomassa, secara alami mempunyai dua mekanisme yang terjadi secara simultan dan bolak balik (*reversible*), dimana pertama-tama terjadi pertukaran ion logam (Pb) yang berada disekitar permukaan sel dengan ion monovalen maupun divalent (misal=Na), dan yang terakhir adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion logam (Pb) dengan gugus fungsional yang terdapat dalam sel (misal=gugus carbonyl (-CO), gugus hydroxycarbonyl (-HCO) (Adi dan Nana, 2010).

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

Kadar logam berat timbal pada bioremediasi logam berat timbal lumpur Lapindo selain dipengaruhi oleh konsentrasi campuran bakteri, juga dipengaruhi oleh lama inkubasi. Pengaruh lama inkubasi dan konsentrasi campuran bakteri terhadap kadar logam berat timbal dalam lumpur Lapindo disajikan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengaruh lama inkubasi dan konsentrasi campuran bakteri terhadap kadar logam berat timbal dalam lumpur Lapindo

Gambar 4.3 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. Setelah inkubasi 20 hari kadar logam berat timbal (Pb) mengalami penurunan pada semua perlakuan hingga di bawah 2 ppm. Pada 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.

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).

Selain dipengaruhi oleh adanya pemekatan logam timbal (Pb), 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.

Dasar dari proses bioremediasi adalah aktifitas aerobik dan anaerobik mikroorganisme heterotrofik. Aktifitas mikroba dipengaruhi oleh parameter fisikokimia dari lingkungan. Faktor yang secara langsung membatasi bioremediasi adalah: sumber energi (donor elektron), akseptor elektron, nutrisi, pH, temperatur dan substrat inhibitor atau metabolit. 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).

Selain itu keberhasilan proses bioremediasi juga dibatasi faktor waktu. Menurut Waluyo (2005) menyatakan, konsentrasi mikroba mempengaruhi keberadaan zat pencemar. Faktor eksternal yang mempengaruhi keberhasilan bioremediasi adalah lingkungan. Bila lingkungan terlalu panas, dingin, basah, kering, asam atau basa maka proses bioremediasi berjalan lambat bahkan terhenti, bioremediasi juga terbatas karena perlakuan waktu.

4.5 Pengaruh pH Media Terhadap Kadar Logam Lumpur Lapindo

pH atau derajat keasaman merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan keberhasilan proses bioremediasi. Nilai pH lingkungan yang tercemar juga berpengaruh terhadap kemampuan mikroorganisme baik untuk menjalankan fungsi selular, transpor membran sel maupun keseimbangan reaksi yang dilakukan oleh mikroorganisme (Munawar, 2012). Pada penelitian ini pH yang digunakan adalah pH alami media yaitu tanpa modifikasi dari peneliti. pH media pada saat dilakukan proses bioremediasi pada hari ke-0 adalah rata-rata 7,84. Data nilai pH dari semua perlakuan disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3 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

Data pada tabel 4.3 tersebut menunjukkan bahwa nilai pH pada awal perlakuan rata-rata 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 pH media percobaan meningkat lagi menjadi rata-rata 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).

Terjadinya peningkatan pH pada penelitian mikrokosmos diduga disebabkan oleh adanya kemampuan bakteri dalam melakukan respon toleransi asam dengan mekanisme pompa hidrogen. Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk melakukan upaya homeostatis terhadap keasaman lingkungan sebatas masih dalam respon toleransi adaptasinya. Caranya dengan melakukan pertukaran kation K^+ dari dalam sel dan menukarnya dengan H^+ yang banyak terdapat di lingkungannya (Chator, 1978).

Selain mengalami peningkatan pH media juga mengalami penurunan. Penurunan tersebut disebabkan karena adanya akumulasi asam-asam organik sebagai hasil akhir metabolisme yang meningkat seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi. Nilai pH yang tinggi kemungkinan disebabkan oleh pelepasan amonia dari substrat atau efek kation yang tersisa setelah metabolisme asam-asam organik (Charlena, 2010).