EnviroScienteae 7 (2011) 12-20 ISSN 1978-8096

INOKULASI BAKTERI PEREDUKSI KROMIUM HEKSAVALEN SEBAGAI UPAYA BIOREMEDIASI LAHAN PASCA TAMBANG

Fakhriza Akhmad[1)], Fadly H. Yusran[2)], Zuraida Titin Mariana[2)], Badruzsaufari[3)]

1) PS PSDAL PPs Universitas Lambung Mangkurat
2) Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat
3) Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

Keywords: Bioremediation, Cr(VI), ex-mine area, lime, origin bacteria, organic matter, reduction

Abstract

The aim of this research was to find out the best combination between the bacteria origin, lime, and organic matter for Cr(VI) reduction. The other objective was to look out the change pattern from Cr(VI) concentration on several period, with hypothesis that bioremediation technology on bacteria, lime, and organic matter combination reduces more Cr(VI) effectively. The results showed that the combination of P.MA origin bacteria with six day period of incubation reduced Cr(IV) for 61,59%. Other, the combination of I.AB origin bacteria with period of 10, 17 and 24 day incubation, reduced Cr(VI) for 76,67, 73,10, and 80,64%, respectively. Analysis of variance for all incubation periods showed significant differences with six and 24 day period were the best treatments. However, a field experiment is needed in order to find the best interaction possible between the origin of the bacteria, lime, and organic matter combination, so that optimum recommendation can be determined for the best possible treatments.

Pendahuluan

Lahan bekas tambang merupakan salah satu lahan kritis yang memiliki permasalahan sangat kompleks. Usaha yang sering dilakukan oleh para pelaku tambang untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan melakukan reklamasi dan revegetasi menggunakan tanaman seperti akasia, sengon, gmelina, sungkai, dan tanaman lain yang bersifat tumbuh cepat (*fast growing*) dan mampu bertahan dalam kondisi yang ekstrim, disertai dengan pemberian amelioran dalam jumlah besar. Sampai saat ini, kurang lebih 8.800 hektar (ha) lokasi tambang yang dibuka, 6.000 ha di antaranya telah direklamasi dan 3.000 ha telah direvegetasi (Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Selatan, 2008).

Permasalahan lahan bekas tambang yang paling utama adalah kandungan logam berat yang relatif tinggi, tanah yang masam, dan kesuburan tanah yang rendah. Salah satu logam berat yang berbahaya adalah kromium (Cr). Lahan bekas tambang di Provinsi Kalimantan Selatan mempuyai kandungan Cr yang relatif tinggi (Saidy dan Badruzsaufari, 2009a).

Tingginya kandungan Cr, baik dalam bentuk Cr-total maupun dalam bentuk heksavalen, sangat berbahaya bagi lingkungan dan perlu adanya tindakan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan bahaya tersebut. Berbagai alternatif dapat diterapkan untuk mengatasi hal tersebut, seperti dengan melalui proses kimimenggunakan resin penukar ion, karbon aktif dan, *reverse osmosis*. Akan tetapi, alternatif ini memerlukan biaya yang sangat besar. Salah satu usaha lain yang dapat dilakukan dengan biaya yang relatif murah adalah penggunaan teknologi bioremediasi (Suresh dan Ravinshankar, 2004). Teknologi ini memang sudah banyak dikembangkan, akan tetapi masih belum banyak diminati oleh para pelaku tambang. Teknologi bioremediasi adalah salah satu cara untuk mengurangi berbagai

bentuk kontaminasi dengan menggunakan agen hayati. Teknologi ini umumnya terdiri dari dua mekanisme yang melibatkan proses serapan aktif dan serapan pasif. Serapan pasif lebih dikenal dengan istilah proses biosorpsi, sedangkan proses serapan aktif dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup.

Berbagai mikroba dapat dimanfaatkan untuk tujuan remediasi ini. Sejumlah bakteri dapat dimanfaatkan untuk mereduksi heksavalen [Cr(VI)] yang sangat berbahaya menjadi trivalen [Cr(III)] yang tidak larut dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Penelitian terakhir di Kalimantan Selatan menemukan 12 isolat bakteri pereduksi Cr(VI), tujuh di antaranya mempunyai kemampuan mereduksi Cr(VI) di atas 50%. Sedangkan selebihnya mempunyai kemampuan mereduksi Cr(VI) sebesar 45-49% (Saidy dan Badruzsaufari, 2009a) .

Saidy dan Badruzsaufari (2009a) melaporkan bahwa ada keterkaitan antara reduksi Cr(VI) dengan pH dan kandungan C-organik tanah. Semakin tinggi pH tanah semakin tinggi juga konsentrasi Cr(VI). Akan tetapi, hubungan linear ini hanya sampai pada pH 7,15-8,27. Selebihnya, peningkatan pH tanah tidak diikuti oleh peningkatan Cr(VI). Hal ini mengindikasikan bahwa pH optimal untuk reduksi Cr(VI) adalah 7,15 -8,27 (Saidy dan Badruzsaufari 2009b). Sementara pemberian bahan organik yang optimal dalam upaya reduksi Cr(VI) adalah sebesar dua ton per ha, yang mana mampu meningkatkan reduksi Cr(VI) tersebut dari 7% menjadi 59%.

Berdasarkan bahasan di atas, ada tiga hal penting yang dapat kita manfaatkan dalam upaya mereduksi kandungan Cr(VI), yaitu dengan memanfaatkan mikroba pereduksi Cr(VI), dan memodifikasi kondisi lingkungannya dengan cara meningkatkan pH tanah yang mana dapat dilakukan dengan penambahan kapur, dan penggunaan bahan organik untuk meningkatkan proses reduksinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh kombinasi terbaik dari isolat bakteri pereduksi Cr(VI), kapur dan bahan organik dalam mereduksi Cr(VI). Tujuan lainnya adalah untuk melihat pola perubahan konsentrasi Cr(VI) dalam beberapa waktu inkubasi.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan percobaan faktor tunggal yang dilaksanakan di lapangan dan ditata dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan percobaan yang akan diuji dalam penelitian ini adalah kemampuan bakteri dalam mereduksi Cr(VI) melalui beberapa bentuk aplikasi.

Perlakuan yang akan diuji dalam penelitian ini meliputi:

1. K = Kontrol– tanah tanpa perlakuan
2. I.AB = Isolat bakteri AB2.A
3. I.MA = Isolat bakteri MA.1.1
4. P-AB = Pelet isolat bakteri AB2.A
5. P-MA = Pelet isolat bakteri MA.1.1
6. KO-AB = Kapur + bahan organik + isolat bakteri AB2.A
7. KO-MA = Kapur + bahan organik + isolat bakteri MA.1.1
8. KO-PAB = Kapur + bahan organik + pelet isolat bakteri AB2.A
9. KO-PMA = Kapur + bahan organik + pelet isolat bakteri MA.1.1

Dosis yang digunakan untuk perlakuan di atas adalah

- Kapur = 2,5 ton ha^{-1}
- Bahan Organik = 2 ton ha^{-1}
- Isolat = 5.10^7 sel m^{-2}
- Pelet = 750 g $plot^{-1} \approx 7{,}5.10^7$ sel m^{-2}

Setiap perlakuan dibuat sebanyak tiga ulangan. Selanjutnya, untuk mengetahui pola perubahan konsentrasi Cr(VI) masing-masing perlakuan akan diinkubasi dengan empat taraf waktu inkubasi, yaitu 6, 10, 17, 24 hari, sehingga diperoleh 108 satuan percobaan.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Lahan Penelitian

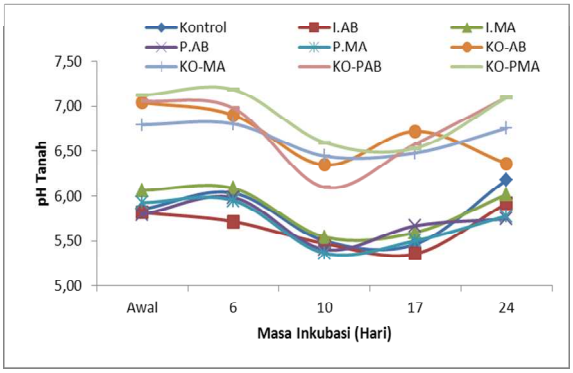
Penelitian ini dilakukan pada lokasi yang memiliki kandungan Cr(VI) dan Cr-total yang tinggi, yaitu di Desa Mandiangin, Kabupaten Banjar Propinsi Kalimantan Selatan. Secara lengkap hasil uji karakteristik tanah (fisika, kimia) dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa tanah yang digunakan dalam penelitian ini bertekstur lempung berliat. Reaksi tanah (pH) pada lokasi penelitian adalah 5,86 atau tergolong dalam klasifikasi agak masam. Sedangkan kandungan N tanah dan C-organiknya berturut-turut adalah 2,3% (sangat tinggi) dan 2.58% (sedang). Selain itu, kation-kation tukar pada tanah tersebut berkisar antara rendah hingga tinggi dan kapasitas tukar kationnya tergolong tinggi (25,63 me 100 g-1). Sebagai target dari penelitian ini, kandungan Cr(VI) dan Cr-totalnya adalah 27,37 ppm dan 1833 ppm.

Reaksi tanah (pH tanah) dan reduksi Cr(VI)

Reaksi tanah (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses bioremediasi oleh bakteri (Camargo *et al*., 2003). Hal ini terkait dengan kemampuan tumbuh/hidup dari bakteri pereduksi tersebut. Dari hasil penelitian, pH tanah pada penelitian ini tidak menunjukan variasi yang besar sejak awal inkubasi hingga akhir masa inkubasi (Gambar 1), baik yang berupa bakteri dalam bentuk cair dan pelet ataupun yang dengan kombinasi kapur dan bahan organik. Dari Gambar 3 proses reduksi sudah terjadi sejak pH tanah 5,50 – 6,00. Hal ini dapat terlihat pada perlakuan P.MA pada masa inkubasi enam hari dan perlakuan I.AB sejak awal hingga akhir masa inkubasi. Keduanya menunjukkan reduksi Cr(VI) yang relatif besar. Secara keseluruhan juga terlihat (Gambar 3) bahwa pola pola pH tanah setiap perlakuan dari awal inkubasi hingga akhir inkubasi tidak variatif.

Penelitian lain pada umumnya menjelaskan bahwa pH optimun untuk proses reduksi Cr(VI) ini adalah berkisar pada pH netral. Saidy dan Badruzsaufari (2009b) menjelaskan bahwa reduksi Cr(VI) akan semakin meningkat dengan meningkatnya pH tanah hingga kisaran pH 7,15 - 8,27. Selain itu, Camargo *et al.* (2003) juga menjelaskan bahwa pH optimum untuk pertumbuhan bakteri pereduksi Cr(VI) dalam kaitannya dengan proses reduksi Cr(VI) tersebut adalah berkisar antara 7,00 – 9,00. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada perlakuan yang dikombinasikan dengan kapur dan bahan organik memang mampu memberikan reduksi terhadap Cr(VI) pada pH antara 6,00 – 7,18, tetapi nilai reduksinya tidak sebesar yang diberikan oleh perlakuan yang tanpa diberikan kapur dan bahan organik. Hal ini diduga terkait dengan faktor lingkungan lain seperti kondisi tanah yang tinggi akan kandungan Cr(VI) nya, dan juga mikroba dalam tanah yang tidak dapat diisolasi atau dideteksi keberadaannya terkait dengan proses reduksi Cr(VI) tersebut.



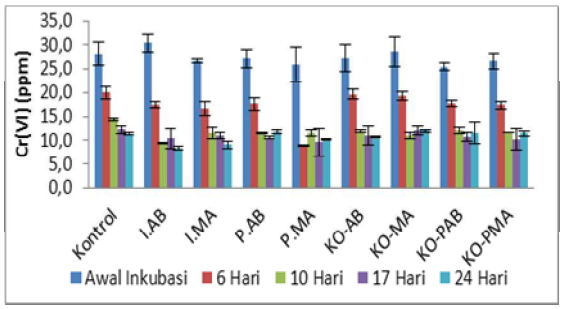
Gambar 1. Sebaran pH tanah pada masing-masing perlakuan dan waktu inkubasi

Reduksi terbesar yang kaitannya dengan pH tanah terjadi pada perlakuan P.MA (bakteri pereduksi Cr(VI) – isolat Mandiangin yang diinokulasikan dalam bentuk pelet) pada waktu inkubasi enam hari dan perlakuan I.AB (bakteri pereduksi

Cr(VI) – isolat Awang Bangkal yang diinokulasikan dalam bentuk cair pada masa inkubasi 10, 17 dan 24 hari pada rentang pH 5,50 – 6,00. Besarnya reduksi Cr(VI) pada kisaran pH 5,50 – 6,00 ini didukung oleh penelitian yang jelaskan oleh Silva, *et al.* (2008) bahwa semakin meningkat pH dari 1 – 4 mampu mereduksi Cr(VI) hingga 72,50 % dengan pendugaan reaksi reduksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$ (1)
$CrO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \leftrightarrow Cr^{3+} + 4H_2O$ (2)
$HCrO_4^- + 7H^+ + 3e^- \leftrightarrow Cr^{3+} + 4H_2O$ (3)
$H_2CrO_4 + 6H^+ + 3e^- \leftrightarrow Cr^{3+} + 4H_2O$ (4)

Silva *et al.* (2008) menjelaskan bahwa reduksi yang terjadi pada pH yang masam didukung oleh lamanya waktu kontak atau waktu inkubasi dari perlakuan yang diberikan. Dari reaksi di atas dia menjelaskan bahwa terjadinya reduksi Cr(VI), adsorpsi/desorpsi ion Cr, protonasi/deprotonasi dari gugus fungsional pada dinding sel bakteri sangat tergantung pada pH. Dengan meningkatnya pH, berarti muatan negatif dari permukaan sel akan meningkat sehingga akan mengikat ion Cr(III) dari hasil reduksi Cr(VI). Sedangkan pada waktu inkubasi yang lebih pendek, muatan positif masih banyak, sehingga akan membentuk ikatan elektrostatis dengan ion Cr(VI). Oleh karenanya, pada perlakuan P.MA dalam waktu inkubasi yang lebih pendek (enam hari) sudah mampu mereduksi Cr(VI) lebih banyak dibandingkan perlakuan yang lainnya. Secara umum, penurunan konsentrasi Cr(VI) setiap perlakuan pada masing-masing waktu inkubasi adalah sebagai berikut:

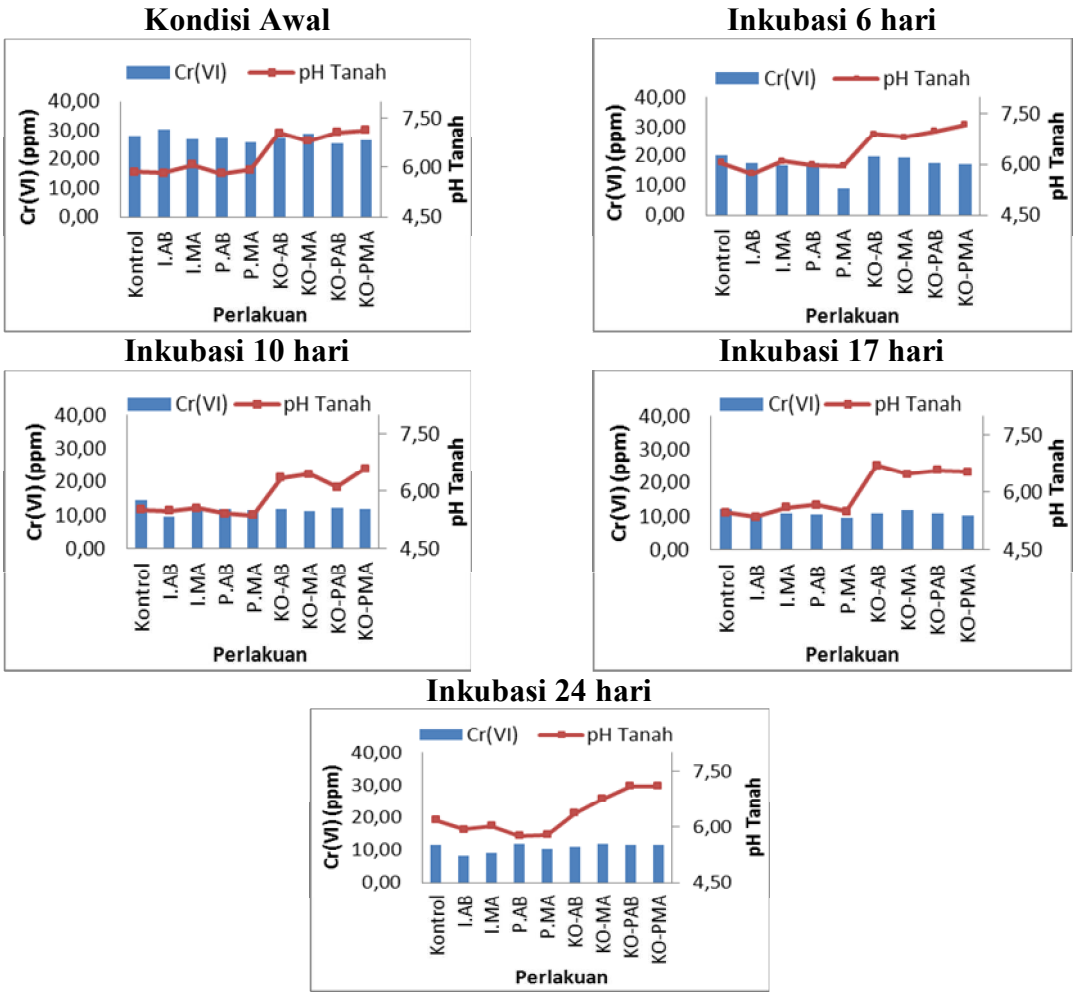


Gambar 2. Konsentrasi Cr(VI) yang tersisa pada masing-masing perlakuan dan waktu inkubasi. Garis di atas batang merupakan standard deviasi dari masing-masing perlakuan (n=3).

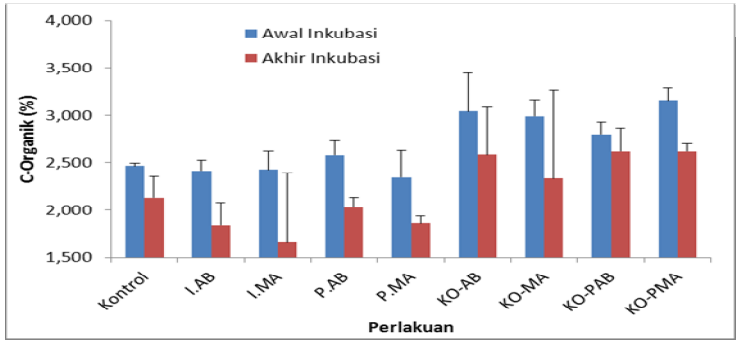
Tabel 1. Sifat fisika – kimia tanah pada lokasi penelitian di Desa Mandiangin, Kabupaten Banjar

No	Sifat Tanah	Unit	Nilai	Keterangan
1	Berat isi	gcm^{-3}	1,18	
2	Tekstur tanah			
	- Pasir	%	22,10	Lempung berliat
	- Liat	%	37,61	
	- Debu	%	40,18	
3	pH tanah (H_2O)		5,86	Agak masam
4	N-total	%	2,3	Sangat tinggi
5	C-Organik	%	2,58	Sedang
6	Kation tukar			
	- Ca	$me100g^{-1}$	3,37	Rendah
	- Mg	$me100g^{-1}$	5,41	Tinggi
	- Na	$me100g^{-1}$	0,17	Rendah
	- K	$me100g^{-1}$	0,73	Tinggi
7	KTK - tanah	$me100\ g^{-1}$	25,63	Tinggi
8	Cr(VI)	Ppm	27,37*	$<0,05\ mgL^{-1}$
9	Cr-total	Ppm	1833	

*) Baku mutu lingkungan Pergub No. 36/2008



Gambar 3. Pola perubahan jumlah Cr(VI) yang direduksi dan kaitannya dengan pH tanah pada masing-masing perlakuan dan waktu inkubasi.



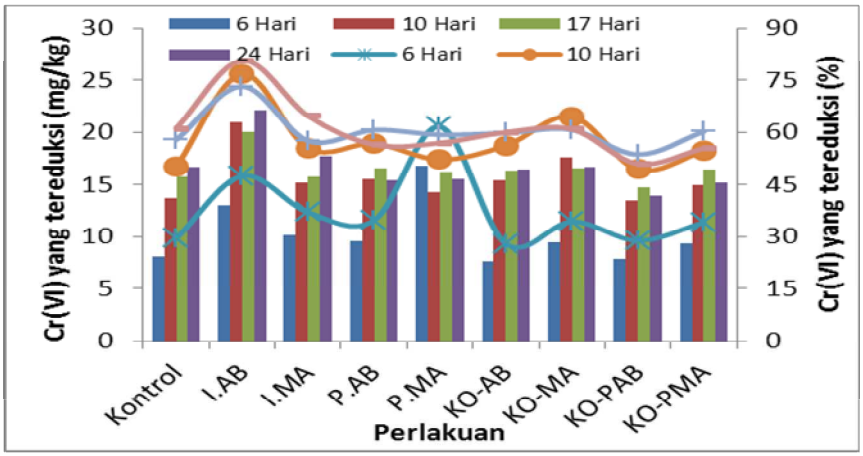
Gambar 4. Kandungan C-organik tanah pada lokasi penelitian sebelum dan sesudah masa inkubasi. Garis di atas batang merupakan standard deviasi perlakuan (n = 3)

Reduksi Cr (VI) oleh bakteri

Pemberian bakteri dalam bentuk cair, pelet ataupun kombinasi dengan kapur dan bahan organik, memberikan pengaruh terhadap reduksi Cr(VI) dalam tanah dari awal inkubasi hingga akhir masa. Berdasarkan hasil penelitian, bakteri dalam bentuk pelet memberikan pengaruh yang besar pada awal-awal masa inkubasi. Pada masa inkubasi enam hari bakteri MA dalam bentuk pelet (P.MA) mampu mereduksi Cr(VI) hingga 16.9 ppm atau 61,59 % dari Cr(VI) pada tanah yang digunakan untuk penelitian ini. Berbeda dengan masa inkubasi yang lebih lama (10, 17 dan 24

hari), justru pada *time series* ini bakteri AB dalam bentuk cair (I.AB) memberikan pengaruh yang besar terhadap reduksi Cr(VI) secara berturut-turut yaitu 76,67, 73,10 dan 80,64%. Hal ini memberikan indikasi bahwa bentuk pemberian bakteri baik dalam bentuk pelet ataupun dalam bentuk cair memberikan pengaruh yang berbeda pada waktu yang berbeda. Perbedaan kemampuan masing-masing bakteri terkait asal bakteri yang digunakan diduga juga sebagai penyebab perbedaan ini. Bakteri MA yang ada pada perlakuan P.MA berasal dari area Mandiangin, sedangkan untuk perlakuan I.AB (bakteri dengan kode AB.2A) berasal dari area Awang Bangkal. Kemampuan adaptasi dapat berpengaruh pada reduksi Cr(VI).

Jumlah Cr(VI) yang direduksi dari masing-masing perlakuan ditentukan dari penurunan konsentrasi Cr(VI) dalam tanah. Bolan (2003) menjelaskan bahwa peningkatan reduksi Cr(VI) akan semakin meningkat hingga waktu inkubasi maksimum dua minggu. Pada penelitian ini reduksi Cr(VI) sudah dapat terlihat sejak enam hari pertama dari masa inkubasi, yang mana penurunannya mencapai lebih dari 60 % (Gambar 5) untuk perlakukan kombinasi bakteri dalam bentuk pelet. Pada penelitian yang lain, Desai *et al.* (2008) menjelaskan bahwa dengan pemberian ekstrak yang mengandung *indigenous* bakteri *Bacillus* sp. perlakuan mampu mereduksi Cr(VI) hingga hasil maksimal hanya dalam waktu 120 menit pada pH netral 6,00 – 7,00.



Gambar 5. Jumlah dan persentase Cr(VI) yang tereduksi dari masing-masing perlakuan pada waktu inkubasi yang berbeda. Jumlah ditunjukkan dengan grafik batang, Persentase ditunjukkan dengan grafik garis.

Penjelasan di atas menunjukkan bahwa ada perbedaan pengaruh antara perlakuan bakteri, baik yang dalam bentuk cair maupun dalam bentuk pelet. Perbedaan juga terjadi pada kedua bakteri yang digunakan. Dari kedua bakteri yang digunakan, MA dan AB, bakteri MA dalam bentuk pelet memberikan pengaruh yang besar pada awal inkubasi (enam hari) dan selanjutnya pengaruh yang diberikan tidak berbeda dengan perlakuan yang lain. Sedangkan bakteri AB memberikan pengaruh pada masa inkubasi berikutnya (10, 17 dan 24 hari) dalam bentuk cair. Hal ini berkaitan dengan daya tahan bakteri tersebut, daya tahan bakteri yang berasal dari lingkungan dengan kandungan logam berat yang tinggi lebih baik daripada bakteri yang berasal dari lingkungan yang kandungan logam beratnya lebih rendah (Hermanto, 2008).

Kombinasi bakteri MA dengan kapur dan bahan organik dan bakteri AB dengan kapur dan bahan organik secara keseluruhan tidak menunjukkan pengaruh yang besar terhadap reduksi Cr(VI). Hal ini sejalan dengan pengaruh reaksi tanah (pH) yang mana tidak menunjukkan pola yang serupa dengan Cr(VI) yang tereduksi. Dari grafik pH (Gambar 8) bisa dilihat bahwa

perlakuaan yang dikombinasikan dengan kapur dan bahan organik mampu meningkatkan pH hingga kisaran 7,00, tetapi, nilai ini tidak mampu membantu meningkatkan reduksi Cr(VI) yang dihasilkan. Hal ini diduga terkait dengan mekanisme dan kemampuan bakteri dalam mereduksi Cr(VI). Mekanisme reduksi Cr(VI) seperti yang dijelaskan oleh Cheung (2006) terjadi pada kondisi aerob dan anaerob. Reduksi secara aerob terjadi dalam lingkungan yang kaya akan O_2. Pada tahap awal bakteri akan mereduksi Cr(VI) menjadi ion-ion transisi seperti Cr(V) dan Cr(IV) sebelum menjadi produk akhir yang lebih stabil, yaitu Cr(III). Sedangkan pada proses reduksi Cr(VI) secara anaerob bakteri menggunakan *cytochrome* seperti *cytochrome b* dan *cytochrome c* sebagai enzim pereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III). Pada penelitian ini diduga mekanisme reaksi yang terjadi adalah secara aerob karena dilakukan pada lahan kering. Walaupun demikian, tidak menutup kemungkinan terjadi juga reduksi anaerob pada *microsite* dalam tanahnya. Selain itu, apabila dilihat dari uji lanjutan, nilai tengah tidak menunjukkan adanya perbedaan, kecuali untuk perlakuan P.MA pada masa inkubasi enam hari. Nilai tengah berbeda sangat nyata dibandingkan dengan perlakuan kombinasi kapur dan bahan organik.

Mekanisme reduksi Cr(VI) sangat terkait dengan kemampuan bakteri bertahan dalam konsentrasi logam yang tinggi. Dua kombinasi perlakuan bakteri yang mempunyai kemampuan reduksi lebih besar (I.AB dan P.MA), sangat terkait dengan kemampuannya bertahan pada kondisi di lapangan. Cervantes (2001) *dalam* Ramadani (2009) melaporkan bahwa kemampuan bertahan bakteri berhubungan dengan struktur plasmid dari bakteri tersebut. Selain dalam hal kemampuan bertahannya, proses reduksi ini juga dapat terjadi dengan bantuan enzim. Elangovan (2006) *dalam* Ramadani (2009) telah berhasil mencirikan enzim kromat reduktase yang berasal dari bakteri genus *Bacillus*. Enzim tersebut mampu mereduksi Cr(VI) dengan optimum pada pH 6,0 dan suhu 30°C. Pada penelitian sebelumnya, Hermanto (2008) juga telah melaporkan bahwa isolat AB dan MA ini memiliki bentuk sel *Bacillus*. Hal ini memberikan indikasi adanya proses enzimatik yang membantu proses reduksi Cr(VI). Ramadani (2009) juga melaporkan bahwa proses reduksi Cr(VI) ini terjadi dalam sel bakteri. Bakteri mereduksi Cr(VI) dengan cara menyerap logam Cr(VI) dari lingkungan ke dalam sel secara *active uptake* dengan tujuan untuk memperoleh energi.

Bioremediasi lahan pasca tambang

Keberhasilan suatu bakteri untuk melakukan proses remediasi adalah apabila dapat memberikan hasil yang sama, baik di lapangan maupun di laboratorium. Secara mikrobiologi, kemungkinan ini sangat kecil karena perbedaan kondisi yang sangat signifikan. Di laboratorium semua faktor eksternal dapat diatur sedemikian rupa sehingga bakteri mampu melakukan proses remediasi yang kita inginkan. Sedangkan untuk penelitian di lapangan, faktor eksternal atau faktor alam merupakan penghambat terbesar. Oleh karena itu, keseragaman perlakuan merupakan keharusan. Sementara untuk faktor alam yang lainnya seperti mikroba dan kondisi di dalam tanah, tidak mungkin dapat diatur.

Berdasarkan hasil dan bahasan di atas semua perlakuan mampu memberikan pengaruh yang positif terhadap reduksi Cr(VI) dalam tanah, dengan presentasi reduksi 30 - 80 % dari konsentrasi awal Cr(VI) pada masing-masing plot percobaan dengan variasi kecepatan reduksi dari setiap perlakuan.

Terdapat dua perlakuan yang memberikan pengaruh yang cukup signifikan, yaitu perlakuan P.MA dan I.AB. P. MA mampu memberikan pengaruh yang besar hanya dalam waktu yang singkat, yaitu enam hari. Sementara itu, I.AB memberikan pengaruh yang lebih besar,

yaitu lebih dari 80 % reduksi, walaupun waktu yang dibutuhkan lebih lama, yakni 24 hari. Seperti yang dilaporkan Bolan (2003), reduksi Cr(VI) akan semakin meningkat hingga waktu inkubasi maksimum dua minggu. Untuk alasan mempercepat dan mempermudah pemberian bakteri yang digunakan, perlakuan P.MA dapat digunakan dalam upaya bioremediasi lahan pasca tambang dengan kandungan Cr(VI) yang tinggi.

Kesimpulan

1. Secara keseluruhan, perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang besar terhadap reduksi Cr(VI).
2. Diperoleh dua kombinasi bakteri yang mampu mereduksi Cr(VI) lebih banyak yaitu perlakuan bakteri MA yang diberikan dalam bentuk pelet (P.MA) untuk periode enam hari dengan jumlah reduksi 61,59%, dan bakteri AB yang diberikan dalam bentuk cair (I.AB) untuk periode 10, 17, dan 24 hari dengan jumlah redusi berturut-turut adalah 76,67, 73,10 dan 80,64 % dari konsentrasi Cr(VI) awal.
3. Pola perubahan reduksi Cr(VI) dari awal inkubasi hingga akhir masa inkubasi menunjukkan peningkatan.
4. Untuk alasan mempermudah pemberian bakteri pereduksi Cr(VI) pada lahan tambang dalam waktu yang singkat, dapat digunakan kombinasi perlakuan dalam bentuk pelet
5. Perlakuan kombinasi bakteri, kapur dan bahan organik tidak lebih besar mereduksi Cr(VI) dibandingkan dengan perlakuan dalam bentuk cair dan pelet.

Daftar Pustaka

Bolan NS, Adriano DC, Natesan R, and Koo B.-J (2003) Effect of organic amendments on reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil. *Journal of Environmental Quality* **32**:120-128

Camargo FAO, Bento FM, Okeke BC and Frankenberger WT (2003) Chromate reduction by chromium resistant bacteria isolated from soil contaminated with dichromate. *Journal of Environmental Quality* **32**:1228 – 1233.

Cheung KH dan Gu, Ji-Dong. (2006) Mechanism of hexavalent chromium detoxification by microorganisms and bioremediation application potential *: A Review. Internationeal Biodeterioration and Biodegradation* **59** (2007): 8 – 15.

Desai C, Jain K, Madamwar D (2008) *Evaluation of In vitro Cr(VI) reduction potential in cytosolic extracts of three indigenous Bacillus sp. isoated from Cr(VI) polluted industrial landfill. Bioresource Technology*. **99** : 6059 – 6069.

Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Selatan (2008) Data Pertambangan di Provinsi Kalimantan Selatan.

Hermanto D (2008) Isolasi dan Seleksi Bakteri Tahan Logam Berat Kromium pada Tanah Serpentin. [Skripsi]. FMIPA, UNLAM. Banjarbaru. [Indonesia]

Ramadani M (2009) Aktivitas Reduksi Logam Berat Kromium Heksavalen (VI) oleh Isolat Bakteri Tahan Logam Berat Kromium. [Skripsi]. FMIPA, UNLAM, Banjarbaru. [Indonesia]

Saidy AR dan Badruzsaufari (2009a) Hubungan antara konsentrasi Cr(VI) dan sifat kimia tanah: Informasi awal untuk remediasi lahan bekas tambang di Kalimantan Selatan. *Jurnal Tanah Tropika*.

Saidy AR dan Badruzsaufari (2009b) Pengapuran dan penambahan bahan organik meningkatkan reduksi kromium (VI): Upaya bioremediasi lahan bekas tambang di Kalimantan Selatan. *Agroscientiae*. *In press*.

Silva BH Figueiredo IC Neves, and T. Tavares (2008) *The Role of pH on Cr(VI) Reduction and Removal by Arthrobacter Viscosus*. *PWASET* Volume 33 September 2008

Suresh B and Ravishankar GA (2004) Phytoremediation – A novel and promising approach for environmental clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology*: 24, 97-124.