

Hubungan antara Konsentrasi Cr(VI) dan Sifat Kimia Tanah: Informasi Awal untuk Remediasi Lahan Bekas Tambang di Kalimantan Selatan

Akhmad Rizali Saidy¹ dan Badruzsaufari²

Makalah 25 Juni 2008/ disetujui 20 Januari 2009

ABSTRACT

Relationship Between Concentration of Cr(VI) and Soil Chemical Characteristics: Preliminary Information for Remediation of Ex-mined Lands in the South Kalimantan (A.R. Saidy and Badruzsaufari): High concentration of heavy metals is frequently observed as an effect of mining activity. In order to determine relationship between concentration of Cr(VI) in ex-mined land and soil chemical characteristics, 15 of soils were sampled from ex-coal and chromate mined-lands in the South Kalimantan Province. Result of the experiment revealed that soils from the ex-mined lands contained 700 - 2645 mg Cr kg⁻¹ soil. This research also showed that 0,73-1,35% of total Cr in these soils exist in the form of hexavalent chromium (Cr(VI)) that is toxic and carcinogen. Concentration of Cr(VI) in these soils were correlated significantly with soil pH in which increasing soil pH would lead to increase in concentration of Cr(VI). In addition, increasing in soil organic carbon will be followed by decreasing concentration of Cr(VI). Relationship between concentration of Cr(VI) and soil pH and organic carbon content could be useful for preliminary information for Cr reclamation of ex-mined lands.

Keywords: Ex-mined-lands, heavy metals, hexavalent chromium, soil pH, soil organic carbon

PENDAHULUAN

Logam berat ditemukan di tanah sebagai hasil dari proses pelapukan batuan dan aktivitas manusia seperti pertambangan dan prosesing yang menggunakan logam berat atau bahan yang mengandung logam berat. Logam berat pada tanah di Kalimantan Selatan umumnya terjadi karena pertambangan batubara dan kromat yang dilakukan pada lahan dengan batuan ultramafik yang mengandung logam berat. Data dari Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Selatan (2008) menunjukkan dari 8.810 hektar tambang yang dibuka, 6.234 hektar yang telah direklamasi dan 3.431 hektar yang telah direvegetasi. Kromium merupakan salah satu dari logam berat yang dapat terekspos ke permukaan tanah karena kegiatan pertambangan. Kromium dalam bentuk hexavalent [Cr(VI)] sangat mudah larut dalam air, bersifat toksik

dan karsinogen (Megharaj *et al.*, 2003), sehingga sangat berbahaya bagi lingkungan.

Tingginya kandungan logam berat dan tingkat kesuburan tanah yang rendah pada lahan bekas tambang merupakan masalah yang harus dipecahkan dalam reklamasi lahan bekas tambang. Model yang sering digunakan dalam reklamasi lahan bekas tambang saat ini adalah penanaman tanaman tahunan seperti akasia dan sengon atau introduksi tanaman budidaya pertanian seperti kelapa sawit yang disertai dengan pemberian bahan amelioran dalam jumlah yang besar ke tanah bekas tambang. Kegiatan reklamasi seperti ini memerlukan biaya yang sangat mahal dan tidak memecahkan masalah tingginya kandungan logam berat pada lahan bekas tambang.

Bioremediasi merupakan salah satu alternatif yang dapat dikembangkan dalam reklamasi lahan bekas tambang. Dibandingkan dengan proses kimia seperti penggunaan resin penukar ion (*exchange*

¹ Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

² Program Studi Biologi FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

J. Tanah Trop., Vol. 14, No. 2, 2009: 97-103

ISSN 0852-257X

resins) dan karbon aktif, *electrodialysis* dan *reverse osmosis*, teknologi bioremediasi memerlukan biaya yang jauh lebih rendah (Suresh and Ravishankar, 2004). Berbagai jenis mikroba dan tanaman dapat digunakan untuk tujuan ini (Novotny, 1995). Sejumlah tanaman mempunyai kemampuan mengakumulasi berbagai jenis logam berat melalui kompleksasi logam berat dengan *phytochelatin* dan *metallothioneins*, kemudian mentranslokasikan logam berat tersebut ke vakuola (Suresh and Ravishankar, 2004). Beberapa mikroorganisme di dalam tanah juga mempunyai kemampuan untuk mendegradasi logam berat melalui transformasi valensi. Low *et al.* (2007) melaporkan sejumlah bakteri dapat mereduksi Cr(VI) yang bersifat toksik menjadi Cr(III) yang tidak larut dan tidak berbahaya di dalam tanah.

Beranjak dari bahasan di atas, terlihat bahwa teknologi bioremediasi merupakan solusi yang potensial dalam menangani permasalahan kandungan logam berat pada lahan bekas tambang. Keberhasilan bioremediasi dalam reklamasi lahan bekas tambang sangat tergantung dari informasi awal tentang karakteristik tanah dan biokimia dari logam-logam berat yang akan didegradasi. Kandungan suatu logam berat yang tinggi dengan valensi yang berbeda-beda mengindikasikan terdapatnya bakteri-bakteri yang mampu mendegradasi logam berat. Akan tetapi informasi-informasi tersebut belum tersedia secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi Cr(VI) dengan beberapa sifat tanah pada lahan bekas tambang di Propinsi Kalimantan Selatan.

BAHAN DAN METODE

Situs Penelitian dan Pengambilan Contoh Tanah

Penelitian ini dilaksanakan pada areal bekas tambang batubara dan tambang kromit di Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan. Situs penelitian ini dipilih karena pertambangan batubara di lokasi ini sudah dilakukan lebih dari 15 tahun sehingga tersedia beberapa areal pertambangan dengan lama reklamasi lahan yang berbeda-beda. Lokasi pengambilan contoh tanah dideskripsikan pada Tabel 1. Contoh tanah disampel pada kedalaman 0-30 cm menggunakan bor pada beberapa titik yang berbeda. Setelah dibersihkan dari sisa-sisa tanaman, contoh tanah kemudian diaduk sampai merata, dimasukkan ke dalam kantong plastik dan disimpan pada suhu 4° C. Sebagian dari contoh tersebut kemudian dikeringudarkan untuk penetapan sifat fisika, kimia dan biologi.

Karakterisasi Tanah Bekas Tambang

Sifat fisika contoh tanah yang dianalisis meliputi tekstur dan berat isi menggunakan metode yang telah dijelaskan oleh Gee dan Bander (1986). Sedangkan sifat kimia tanah yang akan ditetapkan meliputi kandungan karbon organik menggunakan metode Walkley dan Black (Nelson dan Sommers, 1996), total nitrogen ditetapkan menggunakan metode Kjeldahl (Bremer dan Malvaney, 1982). Kemudian analisis pH tanah, kapasitas tukar kation, aluminium-tukar, juga dilaksanakan menggunakan metode standar di

Tabel 1. Lokasi pengambilan contoh tanah.

No.	Lokasi Pengambilan Contoh Tanah	Kode Contoh Tanah	Keterangan
1.	Pengaron – Pit 1	P-1	Tambang batubara tanpa reklamasi
2.	Pengaron – Pit 1 Endapan 1	P1-E1	Tambang batubara tanpa reklamasi
3.	Pengaron – Pit 1 Endapan 2	P1-E2	Tambang batubara tanpa reklamasi
4.	Pengaron – Pit 2 Eupatorium	P2-E	Tambang batubara direklamasi
5.	Pengaron – Pit 2 Halaban	P2-H	Tambang batubara direklamasi
6.	Pengaron – Pit 2 Iskelum	P2-I	Tambang batubara direklamasi
7.	Pengaron – Pit 2 Legum	P2-L	Tambang batubara direklamasi
8.	Simpang Empat	SE	Tambang batubara tanpa reklamasi
9.	Kiram	Kir	Tambang kromat belum direklamasi
10.	Mandiangan – Titik 1	M-1	Tambang kromat belum direklamasi
11.	Mandiangan – Titik 2	M-2	Tambang kromat belum direklamasi
12.	Mandiangan – Titik 3	M-3	Tambang kromat belum direklamasi
13.	Awang Bangkal – Titik 1	AB-1	Tambang kromat belum direklamasi
14.	Awang Bangkal – Titik 21	AB-21	Tambang kromat belum direklamasi
15.	Awang Bangkal – Titik 3	AB-3	Tambang kromat belum direklamasi

Tabel 2. Sifat fisika-kimia tanah di beberapa lahan bekas tambang di Kabupaten Banjar Provinsi Kalimantan Selatan.

Tekstur Tanah			Berat Isi (g cm ⁻³)	pH ¹ H ₂ O	C ² — % —	N ³	C/N	Ca-dd ⁴	Mg-dd	Na-dd	K-dd	KTK	KB (%)
asir	Debu	Liat											
										cmol (+) kg ⁻¹			
24,32	46,34	29,34	1,34	4,46	3,20	0,17	19,06	0,56	0,48	2,12	2,11	16,11	39,17
34,12	43,21	22,67	1,26	4,17	2,79	0,30	9,24	0,49	0,56	1,87	3,21	16,41	43,68
23,27	45,35	31,38	1,27	3,64	3,99	0,29	13,61	0,48	0,17	1,21	2,33	23,86	20,28
20,49	34,21	45,30	1,45	3,05	2,08	0,16	12,71	0,12	0,18	0,98	3,43	24,62	20,31
18,33	45,21	36,46	1,35	3,02	1,44	0,30	4,74	0,06	0,49	1,21	4,32	31,31	21,15
17,24	54,21	28,55	1,21	6,33	1,68	0,20	8,58	0,23	0,61	4,12	3,40	31,31	29,32
25,58	32,10	42,32	1,63	5,95	1,51	0,22	6,99	0,06	0,23	4,16	2,11	31,61	21,61
24,43	34,00	41,57	1,53	5,42	1,84	0,30	6,19	0,11	0,22	3,26	5,40	24,77	37,58
23,21	45,34	31,45	1,23	3,54	2,64	0,15	17,98	0,11	0,37	2,78	4,55	21,13	39,19
32,11	32,12	35,77	1,12	6,12	2,40	0,22	10,69	0,08	0,22	2,86	5,60	21,73	41,60
11,32	45,21	43,47	1,21	5,62	1,52	0,30	5,03	0,07	0,39	3,14	4,33	23,86	35,16
23,21	43,21	33,58	1,19	5,84	3,84	0,17	22,42	0,11	0,49	4,12	6,30	31,31	37,08
21,11	32,21	46,68	1,14	5,71	2,32	0,17	13,82	0,11	0,33	2,12	3,22	16,11	38,54
19,50	45,23	35,27	1,17	5,93	2,56	0,23	11,26	0,11	0,28	3,76	4,33	28,58	31,01
21,23	23,22	55,55	1,21	5,86	0,88	0,38	2,33	0,08	0,33	3,12	3,22	23,71	30,11

¹ Penetapan sifat fisika dan kimia berdasarkan metode yang dijelaskan oleh: Metode elektroda gelas (McLean, 1982).

² Metode Walkley dan Black (Nelson dan Sommers, 1982).

³ Metode Kjeldahl (Bremer dan Mulvaney, 1982).

⁴ Metode perkolasi NH₄OAc pH 7,0 (Rhoades, 1982).

laboratorium (McLean, 1982; Lanyon dan Heald, 1982; Knudsen dan Peterson, 1982; Jackson, 1958). Hasil analisis sifat fisika dan kimia tanah ditampilkan pada Tabel 2.

Kandungan kromium (total Cr) di dalam tanah ditetapkan dengan metode seperti yang dijelaskan oleh Hossner (1996). Secara ringkas, tanah di-*digest* menggunakan campuran HCl pekat (36%) dan HNO₃ (70%) pada suhu 70-100 °C selama kurang lebih 2 jam. Setelah dingin kemudian diencerkan dan volumenya ditepatkan dengan aquades menjadi 100 mL. Konsentrasi Cr di dalam larutan ditetapkan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Konsentrasi Cr(VI) di dalam tanah ditetapkan menggunakan metode *s-diphenylcarbazide* (Bartlett dan James, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

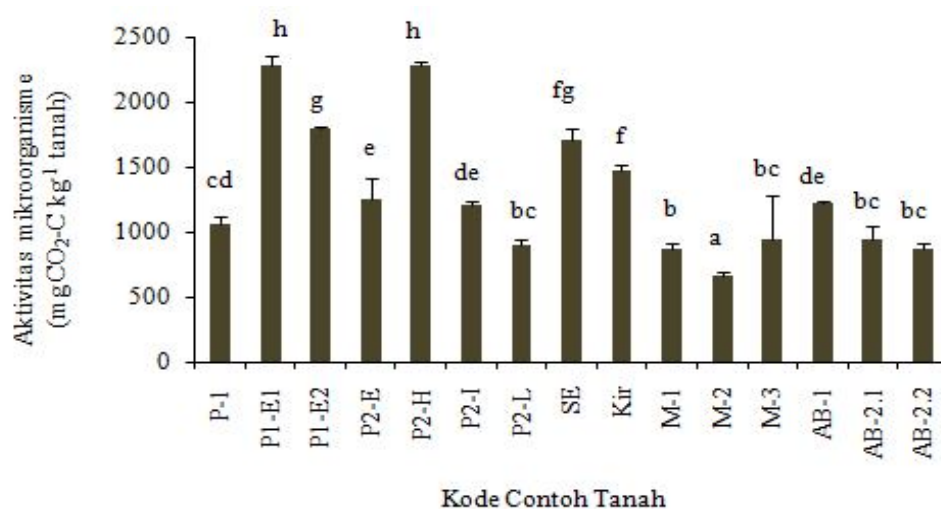
Karakteristik Tanah di Lahan Bekas Tambang

Sifat fisika dan kimia tanah pada beberapa lahan bekas tambang di Kabupaten Banjar, Propinsi Kalimantan Selatan disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan liat pada semua contoh tanah di lokasi penelitian berkisar antara 23% dan 56%, mengindikasikan tekstur tanah yang bervariasi. Tekstur tanah pada lokasi penelitian ini berkisar dari lempung sampai liat. Meskipun contoh tanah di lokasi penelitian mempunyai tekstur tanah yang bervariasi, tetapi contoh tanah mempunyai berat isi (*bulk density*) yang tinggi, yaitu berkisar antara

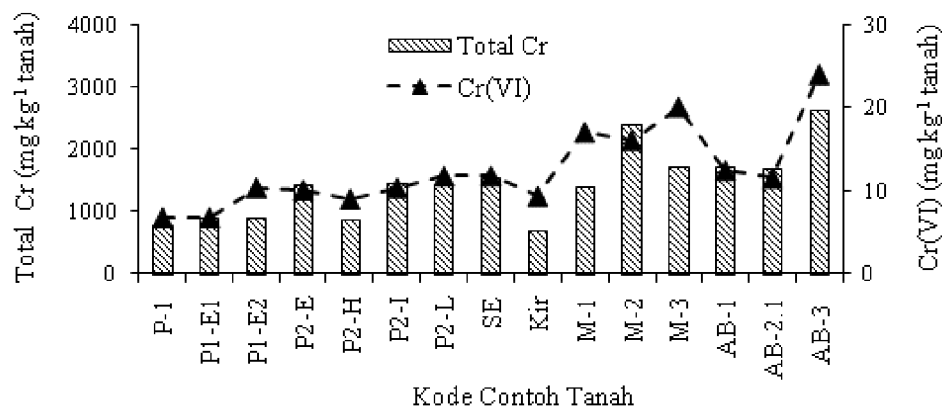
1,12 sampai 1,63 g.cm⁻³. Tingginya berat isi pada tanah ini disebabkan terjadinya penumpukan tanah dari lapisan bawah yang dihasilkan dari proses penambangan dengan sistem *open pit* yang pada akhirnya menyebabkan pemadatan tanah.

Karakteristik kimia tanah dari tanah di beberapa lahan bekas tambang disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa reaksi (pH) tanah di lokasi studi berkisar antara 3,02 sampai 6,33, mengindikasikan bahwa tanah-tanah tersebut dapat dikelaskan ke dalam kelas sangat masam sampai agak masam (Djaenuddin *et al.*, 1994). Yang menarik adalah bahwa pada tanah-tanah tambang kromit, dengan pengecualian sampel dari Kiram, mempunyai pH yang lebih tinggi (agak masam) dibanding pada tanah-tanah bekas tambang batubara (sangat masam sampai agak masam). Kandungan C-organik pada lahan tempat studi berkisar dari 0,88% (sangat rendah) pada lokasi Awang Bangkal (tambang kromat) sampai 3,99% (tinggi) pada lokasi di Pengaron. Kation-kation tukar seperti Na, K, Ca dan Mg pada tanah di lokasi studi bervariasi dari sangat rendah sampai sangat tinggi. Kapasitas tukar kation (KTK) pada lokasi studi berkisar dari 16,11 sampai 31,61 cmol(+) kg⁻¹ tanah (rendah sampai tinggi), sedangkan kejenuhan basa dapat dikelaskan rendah.

Parameter biologi tanah yang diamati pada penelitian ini adalah aktivitas mikroorganisme yang diprediksi menggunakan mineralisasi karbon. Aktivitas mikroorganisme pada tanah bekas tambang disajikan pada Gambar 1. Tanah di lahan bekas tambang dalam studi ini mempunyai aktivitas



Gambar 1. Aktivitas mikroorganisme yang diprediksi dengan mineralisasi karbon pada tanah bekas tambang. Garis di atas batangan menunjukkan simpangan baku dari pengamatan ($n = 3$). Huruf yang sama di atas garis menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.



Gambar 2. Kandungan total Cr dan konsentrasi Cr(VI) pada beberapa lahan bekas tambang di Kalimantan Selatan.

mikroorganisme sebesar 666 – 2.279 mg CO₂-C kg⁻¹ tanah. Aktivitas mikroorganisme ini ada hubungannya dengan kandungan C-organik di tanah yang digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi. Analisis korelasi menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme mempunyai hubungan yang nyata dengan kandungan C-organik ($r = 0,65$; $p = 0,01$).

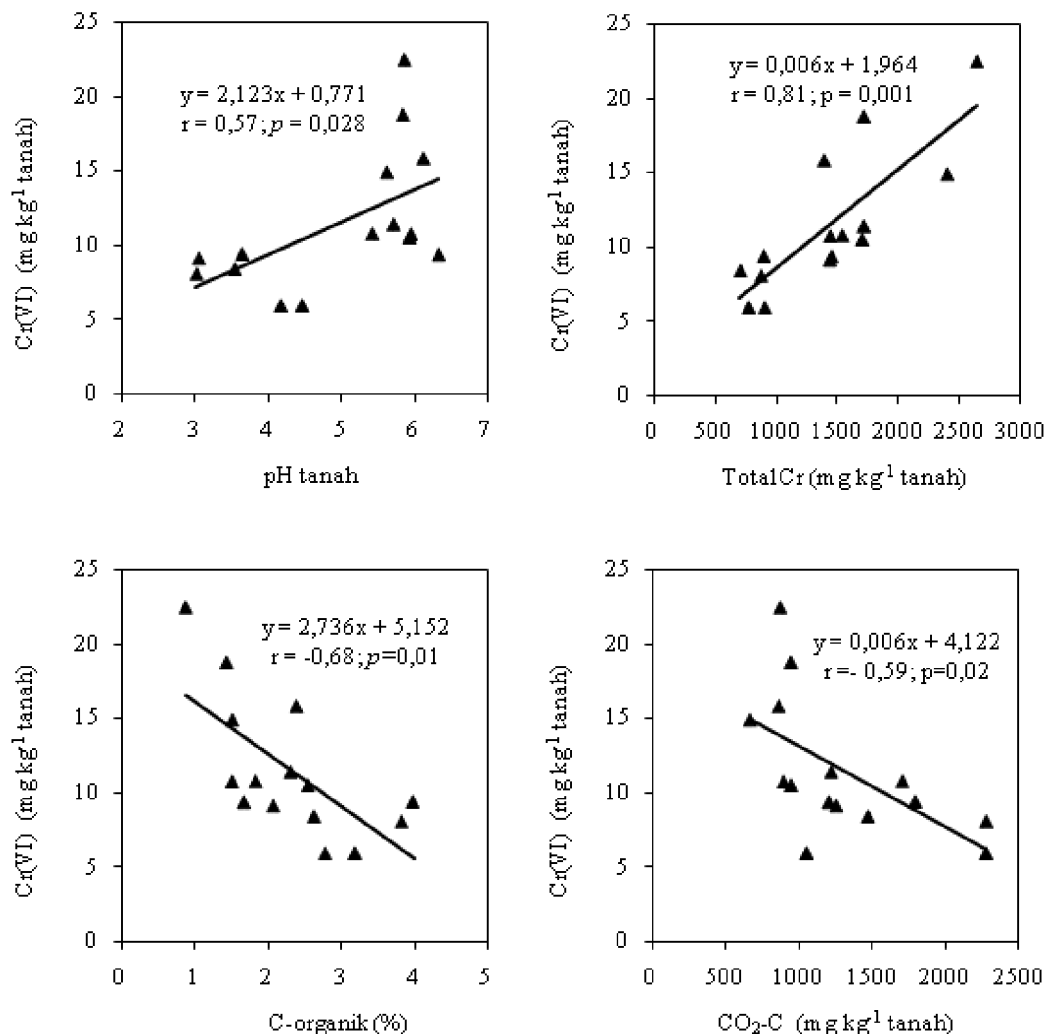
Hubungan Antara Kandungan Cr(VI) dengan Beberapa Sifat Tanah

Kandungan logam berat yang meliputi nikel (Ni), mangan (Mn), seng (Zn), kobalt (Co) dan krom (Cr) pada lokasi studi ditetapkan dalam penelitian ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa logam berat Cr terdapat dalam jumlah yang paling tinggi dibanding dengan logam lain (data tidak ditampilkan). Total Cr yang dianalisis dari contoh tanah dari lokasi studi berkisar antara 700 mg kg⁻¹ tanah sampai 2645 mg kg⁻¹ tanah (Gambar 2).

Kromium di dalam tanah berada dalam bentuk Cr(II), Cr(III), Cr(VI) dan terikat dengan oksida besi, aluminium dan bahan organik. Diantara bentuk-bentuk Cr tersebut di atas, Cr(VI) merupakan bentuk Cr yang bersifat toksik dan karsinogen bagi manusia (Murray *et al.*, 2005). Hasil analisis Cr(VI) disajikan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi Cr(VI) pada lokasi studi bervariasi dari terendah 7 mg kg⁻¹ tanah di lahan bekas tambang batubara yang tidak direklamasi sampai 24 mg kg⁻¹ tanah pada lahan tambang kromat. Konsentrasi Cr(VI) ini berkisar 0,73 – 1,35% dari total Cr di dalam tanah.

Konsentrasi Cr(VI) di dalam tanah diduga tidak dipengaruhi oleh total Cr di dalam tanah saja, tetapi juga ada hubungannya dengan sifat-sifat tanah lain. Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi Cr(VI) dengan sifat kimia tanah dilakukan analisis korelasi dan regresi sederhana antara konsentrasi Cr(VI) dengan pH tanah, aktivitas mikroorganisme, total Cr, dan kandungan karbon organik tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Cr(VI) mempunyai hubungan yang nyata dengan pH (H₂O) tanah ($r = 0,57$; $p = 0,028$), dengan total Cr ($r = 0,81$; $p = 0,001$), dengan aktivitas mikroorganisme ($r = -0,59$; $p = 0,02$), dan dengan kandungan C-organik tanah ($r = -0,68$; $p = 0,045$). Regresi sederhana antara konsentrasi Cr(VI) dengan parameter-parameter tersebut di atas diilustrasikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi Cr(VI) berkorelasi positif nyata dengan pH tanah, mengindikasikan bahwa meningkatnya pH tanah akan diikuti dengan peningkatan konsentrasi Cr(VI). Meskipun mekanisme yang terjadi tidak begitu jelas, Evanko dan Dzombak (1997) juga melaporkan bahwa pada pH < 4,0 bentuk Cr yang dominan adalah Cr(III). Gambar 3 juga menunjukkan bahwa konsentrasi Cr(VI) mengalami penurunan dengan meningkatnya kandungan karbon organik. Penurunan konsentrasi Cr(VI) di dalam tanah dengan peningkatan kandungan C-organik tanah diduga ada hubungannya dengan meningkatnya jumlah elektron yang dihasilkan dari dekomposisi karbon organik di tanah untuk reaksi reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III). Penelitian lain oleh Rynk (2004) yang menggunakan *cheese whey* untuk bioremediasi Cr(VI) juga menunjukkan bahwa



Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi Cr(VI) dengan pH tanah (kiri atas), total Cr (kanan atas), kandungan C-organik (kiri bawah) dan aktivitas mikroorganisme (kanan bawah).

penurunan konsentrasi Cr(VI) dengan peningkatan kandungan C-organik disebabkan peranan bahan organik berperan sebagai donatur elektron.

KESIMPULAN

Konsentrasi Cr(VI) di dalam tanah di lahan bekas tambang mempunyai hubungan dengan pH tanah, dimana semakin meningkat pH tanah diikuti dengan meningkatnya konsentrasi Cr(VI). Disamping itu, peningkatan kandungan C-organik akan diikuti dengan menurunnya konsentrasi Cr(VI). Informasi tentang hubungan antara konsentrasi Cr(VI) dengan pH dan kandungan C-organik tanah dapat digunakan sebagai informasi awal untuk reklamasi Cr(VI) pada lahan bekas tambang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Dirjen Dikti Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan biaya penelitian ini melalui Program Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2007 berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor 110/JO8.2/PG/2007 tanggal 11 Mei 2007.

DAFTAR PUSTAKA

Bartlett, R. J. dan James, B. R. 1996. Chromium. In: R. W. Weaver, J. S. Angle and P. S. Bottomley (Eds), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and*

- Biological Properties. Soil Science Society of America, Madison WI, pp. 683-701.
- Bremer, J.M. dan C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds), Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Inc., Madison WI, pp 199-224.
- Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Kalimantan Selatan. 2008. Data pertambangan di Provinsi Kalimantan Selatan.
- Djaenuddin, D., Basuni, S. Hardjowigeno, H. Subagyo, M. Sukardi, Ismangun, Marsudi, N. Suharta, L. Hakim, Widagdo, J. Dai, Suwandi, Bachri dan Jordens. 1994. Kesesuaian Lahan Untuk Tanaman Pertanian dan Tanaman Kahutanan. Centre for Soil and Agroclimate Research - Euroconsult, Bogor.
- Evanko, C. R. and D. A. Dzombak. 1997. Remediation of Metals-Contaminated Soil and Groundwater. Tecnology Evaluation Report GWR TAC Series TE 97-01. Pittsburg.
- Gee, G.W. and J. W. Bander . 1986. Particle size analysis. In: Klute, A (Ed.), Methods of Soil Analysis I. Physical and Mineralogical Methods, 2nd edition. Soil Science Society of America, Madison WI, pp. 234-289.
- Hossner, L. R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. In: D.L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, M.T. Johnston, and M.E. Summer (Eds.), Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America – American Society of Agronomy Inc., Madison WI, pp. 49-64.
- Jackson, M. L. 1958. Phosphorous determination for soils. In: Jackson M.L. (Ed), Soil Chemical Analysis. Constable, London, pp 134-182.
- Knudsen, D. and G. A. Peterson. 1982. Lithium, sodium dan potassium. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds), Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Inc., Madison WI, pp. 225-246.
- Lanyon, L.E. dan W. R. Heald. 1982. Magnesium, calcium, strontium and barium In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds), Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Inc., Madison WI, pp. 247-274.
- Low, G. K., J. A. Scott, and R. Amal, 2007. Microbial reduction of hexavalent chromium by landfill leachate. J. Hazard. Mater. 1(2): 153-159.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Inc., Madison WI, pp 199-224.
- Megharaj, M., S. Avudeinayagam, and R. Naidu. 2003. Toxicity of hexavalent chromium and its reduction by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste. Cur. Microbiol. 47: 51-541.
- Murray, K. J., M. L. Mozafarzadeh and B. M. Thebo. 2005. Cr(III) oxidation and Cr toxicity in culture of the manganese(II)-oxidizing *Pseudomonas putida* Strain GB-1. Geomicrobiol. J. 22: 151-159.
- Nelson, D.W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Sparks, D.L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, M.T. Johnston, and M.E. Summer (Eds.), Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America – American Society of Agronomy Inc., Madison WI, pp. 961-1011.
- Novotny, V. 1995. Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In: Salamons, W., U. Forstner and P. Mader (Eds.), Heavy Metals: Problems and Solutions. Springer-Verlag, Berlin, pp. 33-52.
- Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds), Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Inc., Madison WI, pp. 149-165.
- Ryink, R. 2004. Bioremediation with cheese whey. J. Compost. Org. Recycl. 45: 26-32.
- Suresh, B. and G. A. Ravishankar. 2004. Phytoremediation – A novel and promising approach for environmental clean-up. Critical Rev. Biotech. 24: 97-124.