

Studi Kemampuan Adsorpsi Ion Logam Cr⁶⁺ oleh Tanah Vulkanik "Studi Kasus Wilayah Industri Penyamakan Kulit, Garut"

The Study of Metal Ion Cr⁶⁺ Adsorption by Volcanic Soils "Case study of the Leather Tanning Industry Area, Garut"

NYOMAN SUMAWIJAYA, ASEP MULYONO, ANNA FADLIAH RUSYDI

Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI
Kompleks LIPI Bandung, Gedung 70 Jl. Sangkuriang No. 10 Bandung 40135
Email: sumawijayanoman75@gmail.com

ABSTRACT

The leather tanning industry in Sukaregang, Garut Regency, produces liquid waste containing Chromium and is discharged directly into the Ciwalen River without a waste treatment process. The content of Cr⁶⁺ as metal ions in the waste can also contaminating groundwater. The movement of Cr⁶⁺ will pass through the soil media before entering to the groundwater wells. The capability of the soil to adsorb the contaminant will reduce the impact on groundwater. The purpose of this study was to determine the ability of the soil in adsorbing and inhibiting the movement of Cr⁶⁺ into groundwater. The study was carried out at Sukaregang, Garut Regency and conducting adsorption experiments with a batch system. The analysis was carried out using the Langmuir and Freundlich isotherm model. The experimental results showed that Cr⁶⁺ adsorbed ranged from 38% to 57% of the initial concentration. The results from Langmuir Isotherm were: the distribution coefficient (K_{ads}) was 0.45 L/mg and the maximum adsorption capacity (q_m) was 2.44 mg/100g sorbent with $R^2 = 0.959$ and Freundlich Isotherm was: q_m was 2,86 mg/100g sorbent and K_{ads} was 0,35 L/mg with $R^2 = 0,860$. This large adsorption capacity is caused by soil texture and soil organic content. The soil in Sukaregang tanning industries has a high adsorption capacity towards Cr⁶⁺ contaminants.

Keywords: adsorption, chromium, Cr⁶⁺, contaminant, volcanic soil, Garut

ABSTRAK

Industri penyamakan kulit di wilayah Sukaregang, Kabupaten Garut, menghasilkan limbah cair yang mengandung Kromium dan dibuang ke Sungai Ciwalen tanpa proses pengolahan limbah. Kandungan ion logam Cr⁶⁺ pada limbah dapat mencemari air tanah. Pergerakan ion logam Cr⁶⁺ akan melalui media tanah sebelum memasuki sumur-sumur penduduk. Beberapa jenis tanah mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi ion pencemar sehingga tidak semua limbah yang meresap ke dalam tanah mencemari air tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peranan tanah dalam menghambat pergerakan ion logam Cr⁶⁺ ke dalam air tanah. Penelitian dilaksanakan dengan pengambilan sampel tanah di daerah Sukaregang, Garut, dan melakukan percobaan adsorpsi dengan sistem batch. Sementara analisis dilakukan dengan menggunakan model isotherm Langmuir dan Freundlich. Hasil percobaan menunjukkan konsentrasi Cr⁶⁺ yang teradsorpsi berkisar 38 – 57 % dari konsentrasi awal. K_{ads} sebesar 0,45 L/mg dan q_m sebesar 2,44 mg/100g tanah dengan nilai $R^2 = 0,959$ menggunakan isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich memberikan nilai q_m sebesar 2,86 mg/100 g sorbent dan K_{ads} sebesar 0,35 L/mg dengan $R^2 = 0,860$. Tingginya daya adsorpsi ini disebabkan oleh tekstur tanah dan kandungan bahan organik. Tanah di wilayah penelitian memiliki daya adsorpsi yang besar terhadap kontaminan Cr⁶⁺.

Kata kunci: adsorpsi, kromium, Cr⁶⁺, kontaminan, tanah vulkanik, Garut

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sentra industri kulit (SIK) di wilayah Sukaregang, Kabupaten Garut terkenal akan industri penyamakan kulitnya dan merupakan salah satu industri unggulan daerah tersebut. Kegiatan industri ini selain menambah pendapatan asli daerah (PAD) juga menimbulkan berbagai permasalahan yang salah satunya adalah pencemaran pada air tanah oleh limbah hasil pengolahannya.

Untuk mengolah kulit mentah menjadi bahan kerajinan kulit dilakukan penyamakan, yang diantaranya menggunakan bahan yang mengandung garam Kromium yang berfungsi sebagai pelepas bulu pada kulit hewan⁽¹⁾. Kromium (Cr) merupakan jenis kontaminan anorganik logam dan kation⁽²⁾. Kromium merupakan salah satu jenis kontaminan yang bersifat karsinogenik dengan nomor atom 24 dan berat atom 51,996. Kromium mempunyai valensi 0, 3 dan 6, namun di alam Cr berada pada bentuk Cr^{3+} dan Cr^{6+} ⁽³⁾. Cr^{3+} dalam bentuk Cr^{3+} , $CrOH^{2+}$, $Cr(OH)_2^+$, $Cr(OH)_3^0$ dan $Cr(OH)_4^-$ dan Cr^{6+} dalam bentuk CrO_4^{2-} dan $HCrO_4^-$ bersifat toksik bila dibandingkan dengan Cr^{3+} .

Toksisitas Cr^{6+} diakibatkan karena sifatnya yang berdaya larut dan mobilitas tinggi di lingkungan. Apabila masuk ke dalam sel dapat menyebabkan kerusakan DNA sehingga terjadi mutasi. Selain bersifat karsinogenik, Cr^{6+} sangat beracun dan korosif serta dapat menyebabkan gangguan pada sistem kekebalan tubuh, ulserasi pada selaput lendir hidung dan kulit, gangguan hati dan ginjal bahkan kematian^(3,4).

Industri penyamakan kulit yang menggunakan proses *chrome*, menghasilkan limbah cair yang mengandung Kromium dan langsung dibuang ke Sungai Ciwalen tanpa melalui proses pengolahan limbah. Hasil pendataan lapangan yang dilakukan di kawasan industri Sukaregang, Garut, Jawa Barat, menunjukkan konsentrasi Cr^{6+} dalam air limbah antara 0,02 sampai 4,8 mg/L dan Sungai Ciwalen berkisar 0,09 - 0,92 mg/L, sementara dalam air tanah berkisar <0,01 s/d 0,058 mg/L. Baku mutu untuk ion logam Cr^{6+} yang diperbolehkan dalam air bersih adalah sebesar 0,05 mg/L^(5,6). Sungai Ciwalen yang banyak menampung limbah industri ini akan sangat berpengaruh terhadap pola penyebaran Cr^{6+} . Air Sungai Ciwalen yang mengandung limbah cair dengan konsentrasi Cr^{6+} di atas baku mutu dapat masuk ke dalam air tanah dan mencemari sumur-sumur penduduk di sepanjang Sungai Ciwalen.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan tanah vulkanik di

kawasan industri kulit Sukaregang dalam mengadsorpsi dan menghambat ion logam Cr^{6+} ke dalam air tanah melalui percobaan skala laboratorium.

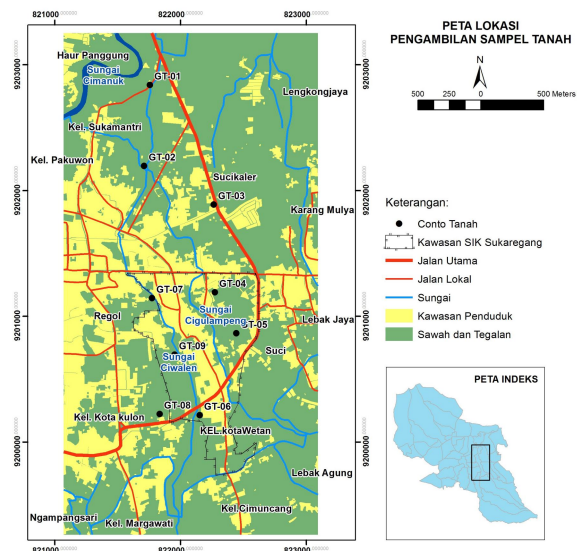
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel tanah di lapangan, selanjutnya dilakukan analisa tekstur (sifat fisik), kandungan organik, dan kandungan ion logam Cr^{6+} . Analisa sifat fisik tanah menggunakan metoda klasifikasi USDA⁽⁷⁾, yang mengklasifikasikan tanah berdasarkan fraksi pasir (ukuran butir 0,05 mm sampai 2,0 mm), debu (ukuran butir 0,002 sampai 0,05 mm) dan liat (ukuran butir lebih kecil dari 0,002 mm). Kandungan organik dianalisa dengan cara uji bakar (LOI). Analisis kandungan Kromium dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri di Laboratorium Air dan Tanah Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI.

2.2 Metode

Wilayah penelitian termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Garut Kota, Karangpawitan, Tarogong Kidul dan Tarogong Kaler, Kabupaten Garut. Sentra Industri Kulit (SIK) Sukaregang secara administratif berada di Kecamatan Garut Kota dan Karangpawitan yang termasuk ke dalam lima desa yaitu Kota Wetan, Kota Kulon, Regol, Margawati dan Suci (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Wilayah penelitian merupakan daerah antar pegunungan dimana litologi pengisinya secara umum tersusun oleh endapan-endapan hasil gunungapi, baik endapan langsung (piroklastik) maupun endapan tak langsung yang diendapkan terutama pada berbagai lingkungan darat. Litologi penyusunnya merupakan batuan

vulkanik yang berumur Kuartar⁽⁸⁾. Satuan batuananya terdiri atas: batuan Gunungapi Kracak-Puncak Gede (Qkp), endapan rempah lepas gunungapi muda tak teruraikan (Qypu), batuan gunungapi muda (Qyc) dan Aluvium (Qa) (Gambar 1). Jenis tanah wilayah penelitian termasuk ke dalam jenis Latosol Coklat⁽⁹⁾.

Percobaan adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch* dengan menggunakan 6 tabung yang berisi 50 ml larutan tanah dengan konsentrasi antara 0,5 – 3,0 mg/L Cr⁶⁺ sampai dicapai kondisi kesetimbangan (24 jam). Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tingkat adsorpsi tanah terhadap logam berat Cr⁶⁺ adalah sebagai berikut :

- Enam buah tabung diisi larutan Kromium dengan konsentrasi bervariasi, masing-masing 0,5 ppm; 1 ppm; 1,5 ppm; 2 ppm; 2,5 ppm; dan 3 ppm.
- Lima gram tanah dimasukkan ke dalam masing-masing tabung, kemudian tanah dan larutan diaduk.
- pH larutan dikondisikan pada pH netral.
- Tanah dan larutan didiamkan selama 24 jam.
- Setelah setimbang, larutan disentrifuge hingga mendapat supernatan yang jernih.

Hasil uji adsorpsi selanjutnya digambarkan dengan model isoterm. Terdapat beberapa model isoterm seperti isoterm linear, isoterm Langmuir, isoterm Freundlich, dan isoterm BET⁽¹⁰⁾. Model isoterm yang digunakan dalam analisis data adalah isoterm yang sering digunakan, yaitu isoterm yang diusulkan oleh Freundlich dan Langmuir⁽¹⁰⁾. Persamaan yang digunakan untuk masing-masing model isoterm adalah sebagai berikut:

Isoterm Langmuir =

$$S = \frac{q_m K_{ads} C_e}{1 + K_{ads} C_e} \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan 1 kemudian dilinearkan menjadi bentuk umum $y = c + mx$, sebagai berikut =

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_{ads} q_m} \frac{1}{C_e} \dots \dots \dots (2)$$

Isoterm Freundlich =

$$S = K_f C_e^n \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan 3 juga dilinearkan menjadi bentuk umum $y = c + mx$, sebagai berikut =

$$S = \text{Log } K_f + n \text{ Log } C_e^n \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan

S : massa zat teradsorpsi per satuan berat adsorben (mg/kg sorbent).

q_m : tetapan yang menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum atau jenuh di mana semua *sorption site* telah penuh (mg/kg sorbent)

K_{ads} : tetapan yang berhubungan dengan energi ikatan (mg⁻¹ L)

C_e : konsentrasi larutan setelah ekuilibrium (mg/L).

K_f : konstanta

n : tetapan yang menunjukkan daya sorpsi terhadap adsorbat.

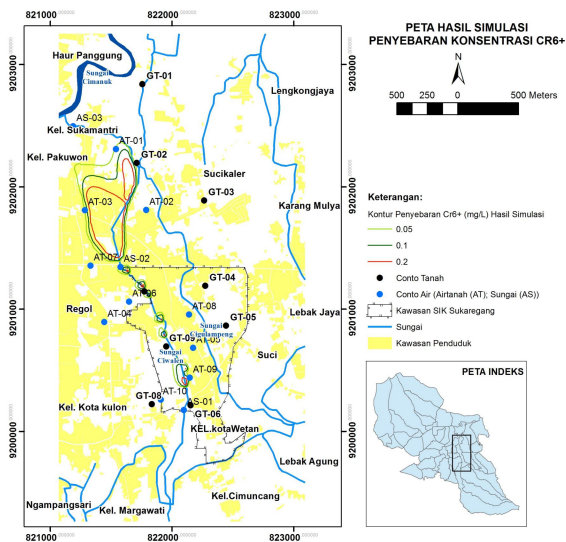
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sampel air Sungai Ciwalen menunjukkan konsentrasi ion logam Cr⁶⁺ berkisar antara 0,09 - 0,92 mg/L (Tabel 1). Konsentrasi Cr⁶⁺ pada air permukaan sudah melebihi ambang batas⁽¹¹⁾. Sementara itu, dari 10 sampel air yang dianalisa, terdapat 3 sampel sumur gali yang mengandung ion logam Cr⁶⁺ (>0.05 mg/L) yang melebihi ambang batas untuk kualitas air bersih⁽⁶⁾, yaitu antara 0,052 – 0,058 mg/L (AT-1, AT-3 dan AT-9) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, sedangkan lokasi sumur-sumur yang telah mengandung Cr⁶⁺ melebihi ambang batas yang disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil analisa Cr⁶⁺ di air tanah dan air sungai

Kode	Keterangan	Cr ⁶⁺ (mg/L)
AT-01	Sumur gali	0,052
AT-02	Sumur gali	<0,01
AT-03	Sumur gali	0,058
AT-04	Sumur gali	<0,01
AT-05	Sumur gali	<0,01
AT-06	Sumur gali	<0,01
AT-07	Sumur gali	<0,01
AT-08	Sumur gali	<0,01
AT-09	Sumur gali	0,058
AT-10	Sumur gali	<0,01
AS-01	Air sungai	0,88
AS-02	Air sungai	0,92

Hasil simulasi penyebaran konsentrasi Cr⁶⁺⁽¹²⁾, terdeteksi pada sejumlah sumur masuk ke dalam air tanah melalui Sungai Ciwalen. Berdasarkan penyebarannya, ternyata sampel air sumur penduduk yang mengandung konsentrasi Cr⁶⁺ di atas baku mutu berada arah aliran dari sungai Ciwalen dengan tipe influen dimana posisi air tanah berada dibawah muka air sungai Ciwalen (Gambar 2). Kontaminan Cr⁶⁺ pada sungai Ciwalen masuk ke dalam air tanah pada sumur-sumur penduduk.



Gambar 2. Peta hasil simulasi penyebaran Cr^{6+}

Hasil analisa tekstur sampel tanah dengan menggunakan klasifikasi USDA, menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian termasuk lempung berdebu dan lempung pasir⁽⁷⁾, kandungan organik antara 0,19% sampai 0,67% dan kandungan ion logam Cr^{6+} pada sampel tanah tidak terdeteksi (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil analisa sampel tanah

Sifat Tanah	Min	Max
pH	6,44	6,77
Kadar Air (%)	7,99	14,9
C-Org (%)	0,19	0,67
KTK (me/100g)	11,97	29,56
Cr^{6+} (ppm)	ttd	ttd
Pasir Kasar	11,57	54,62
Pasir Halus	1,27	2,35
Lanau	31,68	78,64
Lempung	0,95	12,72
pH	6,44	6,77
Kadar Air (%)	7,99	14,9

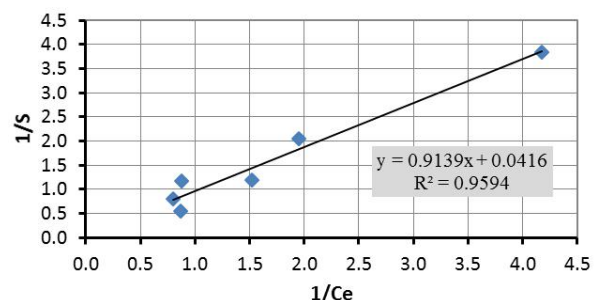
Selanjutnya percobaan adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch* dengan menggunakan sampel tanah yang diambil dilapangan yang kemudian diberikan konsentrasi Cr^{6+} antara 0,5–3,0 mg/L. Hasil pengujian menunjukkan jumlah konsentrasi Kromium yang teradsorpsi berkisar antara 0,24 sampai 1,15 mg/L atau 38-57 % dari konsentrasi awal (Tabel 2). Hasil yang diperoleh dari laboratorium adalah konsentrasi Cr^{6+} awal dan konsentrasi Cr^{6+} pada kondisi setimbang (*ekuilibrium*), sehingga diperoleh konsentrasi Cr^{6+} yang teradsorpsi oleh tanah seperti terlihat pada Tabel 3.

Untuk menganalisa data hasil percobaan digunakan 2 (dua) model isoterm sorpsi yaitu model Langmuir dan model Freundlich. Untuk mengetahui model isoterm sorpsi Langmuir maka data dari Tabel 2 diplot ke grafik dengan sumbu x adalah $1/C_e$ dan sumbu y adalah $1/S$ (Gambar 3), kemudian ditentukan persamaan garisnya yang paling mendekati. Sementara untuk mendapatkan model isoterm Freundlich, data hasil analisa diplot dalam grafik dengan sumbu x adalah $\log C_e$ dan sumbu y adalah $\log S$ (Gambar 3). Selanjutnya dicari persamaan garis dengan nilai R^2 yang paling besar.

Tabel 3. Hasil pengujian adsorpsi tanah

Konsentrasi awal (C_0) (ppm)	Absorban (nm)	Konsentrasi akhir (C_e) (ppm)	% Sorpsi
0.5	0.117	0.239	47.9%
1.0	0.265	0.512	51.2%
1.5	0.345	0.659	43.9%
2.0	0.607	1.141	57.0%
2.5	0.663	1.244	49.8%
3.0	0.612	1.150	38.3%

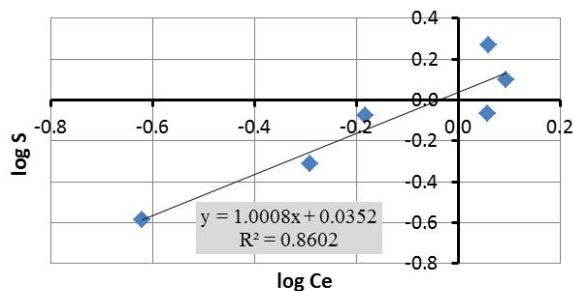
Grafik isoterm Langmuir (Gambar 3) memberikan persamaan regresi linier $y=0.913x+0.04$ dengan $R^2=0,959$. Massa kontaminan Cr^{6+} yang dapat diserap tanah dapat dihitung dengan persamaan tersebut. Nilai lain yang didapat dari persamaan regresi linier adalah q_m sebesar 2,44 mg/100 g sorbent. Makna dari nilai q_m tersebut adalah pada saat seluruh *sorption site* tanah telah jenuh, 100 gram tanah masih dapat menyerap sebanyak 2,44 mg kontaminan Cr^{6+} . Nilai tersebut menunjukkan kapasitas adsorpsi tanah yang cukup tinggi.



Gambar 3. Isoterm Langmuir adsorpsi Cr^{6+} pada tanah Lempung Berdebu

Kemampuan adsorpsi tanah Lempung Berdebu terhadap Kromium juga digambarkan dengan Isoterm Freundlich (Gambar 4). Grafik Isoterm Freundlich pada gambar 5 memberikan persamaan regresi linier $y=1.000x+0.035$ dengan $R^2=0,860$ atau massa kontaminan Cr^{6+}

yang dapat diadsorpsi oleh tanah dapat dihitung dengan persamaan $S=0,0352+\text{Log } C_e$. Nilai q_m yang diperoleh dari isotherm ini adalah 2,86 mg/100 g sorbent, hampir sama dengan perolehan dari Isoterm Langmuir. Makna dari nilai q_m tersebut adalah pada saat seluruh *sorption site* tanah telah jenuh, 100 gram tanah masih dapat menyerap sebanyak 2,86 mg kontaminan Cr^{6+} . Konstanta daya sorpsi (n) sebesar 1. Nilai n umumnya lebih kecil daripada 1, meskipun dari hasil eksperimen laboratorium sering ditemukan nilai n yang lebih besar daripada 1⁽¹⁰⁾. Semakin besar n , maka kemampuan adsorpsi media terhadap kontaminan juga semakin tinggi.



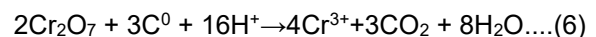
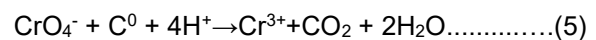
Gambar 4. Isoterm Freundlich adsorpsi Cr^{6+} pada tanah Lempung Berdebu

Secara umum terlihat bahwa jenis tanah di wilayah penelitian memiliki daya adsorpsi yang besar terhadap Cr^{6+} . Pada Grafik isoterm Langmuir memberikan nilai $R^2=0,959$, sedangkan isoterm Freundlich memberikan nilai $R^2=0,860$. Isoterm Langmuir memberikan koefisien determinasi yang lebih besar daripada isoterm Freundlich. Semakin besar nilai n maka daya adsorpsi tanah semakin tinggi⁽¹³⁾. Besarnya daya adsorpsi tanah dapat menghambat penyebaran Cr^{6+} dalam tanah, karena semakin tinggi daya adsorpsi tanah terhadap suatu zat maka semakin sedikit zat tersebut yang akan masuk ke dalam air tanah⁽¹⁴⁾. Namun demikian jika kapasitas adsorpsi tanah sudah terlampaui maka zat pencemar (Cr^{6+}) akan meresap dan masuk ke zona air tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa batas kemampuan tanah untuk menyerap zat pencemar (Cr^{6+}) adalah pada konsentrasi 1,244 ppm, yang selanjutnya menurun menjadi 1,150 ppm.

Sifat tanah yang paling berperan dalam proses adsorpsi dan desorpsi adalah tekstur tanah dan mineraloginya. Ditinjau dari segi tekstur, maka tanah Lempungan memiliki partikel halus (liat atau lempung) mempunyai luas permukaan yang besar sehingga akan mempunyai daya adsorpsi yang besar. Adanya kandungan organik dalam tanah berperan penting dalam proses adsorpsi larutan non-ionik dan hidrofobik, dimana tanah dengan kandungan

organik tinggi dapat mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} . Penelitian menunjukkan bahwa tanah sawah (kaya kandungan bahan organik) yang diambil dari daerah Bandung lebih efektif dalam mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} dibanding penggunaan bahan lain seperti zeolit dan *iron slag*⁽¹⁵⁾. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa tanah organik yang berasal dari pesawahan di daerah sekitar Bandung dapat mereduksi konsentrasi Cr^{6+} sampai 99 %. Sementara itu adanya ion besi dan karbon dalam tanah dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi tanah terhadap Cr^{6+} ⁽¹⁶⁾.

Tanah yang mengandung asam humat/humin diketahui berkemampuan untuk berinteraksi sangat kuat dengan berbagai logam dan membentuk kompleks logam humat. Asam humat merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ (fenolat) maupun $-\text{OH}$ (alkoholat), sehingga asam humat memiliki peluang untuk berikatan dengan ion logam dengan reaksi⁽¹⁵⁾ sebagai berikut:



Bila kontaminan (Cr^{6+}) yang terlarut dalam air tanah kontak dengan tanah, maka kemungkinan konsentrasinya akan berkurang karena kontaminan tersebut akan bereaksi atau terikat pada permukaan tanah melalui suatu mekanisme yang disebut sorpsi. Sebaliknya, air tanah yang tidak mengandung kontaminan, bila kontak dengan tanah yang telah mengandung kontaminan melalui mekanisme sorpsi dapat terkontaminasi akibat kontaminasi yang dilepaskan oleh tanah tersebut melalui mekanisme yang disebut desorpsi⁽¹⁰⁾.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data, tidak ditemukannya konsentrasi Cr^{6+} pada tanah lempungan dilokasi penelitian. Jenis tanah lempungan di sekitar industri penyamakan kulit memiliki daya adsorpsi yang besar terhadap ion logam Cr^{6+} . Hasil percobaan menggunakan Isoterm Langmuir dan Freundlich menunjukkan tanah lempungan di sekitar industri penyamakan kulit memiliki kapasitas adsorpsi yang besar. Pada Isoterm Langmuir dan Freundlich diperoleh nilai q_m masing-masing 2,44 mg/100g tanah dan 2,86 mg/100g tanah. Maknanya adalah pada saat seluruh *sorption site* tanah telah jenuh, 100 gram tanah masih dapat menyerap sebanyak 2,44 mg kontaminan Cr^{6+} untuk Isoterm Langmuir, dan 2,86 mg mg kontaminan Cr^{6+} untuk Isoterm Freundlich. Tingginya daya adsorpsi tanah lempungan terhadap ion Cr^{6+} salah satunya

disebabkan oleh tekstur tanah dan kandungan bahan organik tanah.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi yang telah memberikan kesempatan dalam berkontribusi di kegiatan penelitian DIPA tahun 2009 di wilayah Kabupaten Garut dan seluruh anggota tim penelitian yang telah bahu membahu di lapangan, laboratorium dan studio.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kartikasari, S.N. & Widyantoro, A. (1994). Limbah Cair berbagai Industri di Indonesia : Sumber, Pengendalian, dan Baku Mutu. Environmental Management Development in Indonesia, Project of The Ministry of State for The Environment, Republic of Indonesia and Dalhousie University, Canada.
2. Fetter, C.W. (2001). Applied Hydrogeology. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.
3. Kumar, A. R. & Riyazuddin, P. (2008). Chromium speciation in groundwater of a tannery polluted area of Chennai City, India. Environ Monit Assess DOI 10.1007/s10661-008-0720-9. Springer Science.
4. Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2000). Toxicological Profile For Chromium. Atlanta, GA: U.S. Department Of Health And Human Services, Public Health Service.
5. Sumawijaya, N. Igna Hadi, I., Dyah Marganingrum, D., Arief Rachmat, A., Rusydi, A. F. & Mulyono, A. (2009). Studi Model Pola Penyebaran Krom Dalam Air tanah Hasil Limbah Industri Penyamakan Kulit Sukaregang, Laporan Penelitian, Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI.
6. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002.
7. USDA. (1993). Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. United State Department of Agriculture.
8. Alzwar, Akbar & Bachri. (1992). Peta Geologi Regional Lembar Garut Dan Pameungpeuk, Skala 1 : 100.000. Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, Bandung.
9. Pusat Penelitian Tanah. (1966). Java Soil Map. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
10. Notodarmojo, S. (2005). Pencemaran Tanah dan Air Tanah, Penerbit ITB, Bandung.
11. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Sekretariat Negara Republik Indonesia, Jakarta.
12. Mulyono, A. (2010). Studi Relasi Hidrodinamika Sungai Ciwalen dan Air tanah melalui Pendekatan Model (Studi Kasus Pada Pola Aliran Sungai Ciwalen Kecamatan Garut Kota). Widya Riset Edisi IPA dan IPT Volume 13 Nomor 2 Tahun 2010.
13. Lin, S. D. (2004). Water and Wastewater Calculations Manual. McGraw-Hill. New York, US.
14. Palmer, C. D. & Puls, R.W. (1994). Natural Attenuation of Hexavalent Chromium in Groundwater and Soils, EPA/540-94/505, US-EPA, Washington DC.
15. Hendrawan, A. W. (2009). Studi Reduksi Larutan Chromium (VI) dalam Akifer Buatan menggunakan Material Zeolit, Tanah Organik dan Iron Slag. Tesis Program Magister Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB. (tidak dipublikasikan)
16. Manahan, S. E. (1994). Environmental Chemistry. 6th Edition, CRC Press Inc., USA.