

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/316470512>

Simulasi Pelindian Fe Dan Ca Akibat Hujan Asam Di Wilayah Industri Citeureup Bogor

Article · June 2013

CITATIONS

0

READS

107

2 authors:



Sutanto Latif

11 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Ani Iryani

Universitas Pakuan

21 PUBLICATIONS 140 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



electrocoagulation for waste water [View project](#)



Converte Hydrophilic to Hydrophobic materials [View project](#)

Simulasi Pelindian Fe Dan Ca Akibat Hujan Asam Di Wilayah Industri Citeureup Bogor

Sutanto*¹ dan Ani Iryani ²
Jurusan kimia FMIPA Universitas Pakuan,
Jl. Pakuan, Bogor 16144, Indonesia
E-mail: sutanto_psl@yahoo.co.id

ABSTRAK

Wilayah industri Cibinong-Citeureup Bogor telah mengalami hujan asam intensitas tinggi (pH<5,0). Hujan asam dapat melarutkan logam dalam tanah (pelindian=*leaching*) sehingga meningkatkan kadar logam dalam air sumur. Telah dilakukan percobaan simulasi pengaruh keasaman air hujan buatan terhadap kadar logam Fe dan Ca dalam air lindi. Tujuan penelitian ini untuk memperelajari hubungan antara keasaman air hujan dengan kadar kedua logam tersebut dalam air lindi sebagai representasi air sumur. Percobaan simulasi dilakukan pada kolom pelindi paralon PVC diameter 3 inchi, tinggi 130 cm. Kolom diisi tanah dari daerah Citeureup Bogor dengan teknik "undisturb". Kolom dimasukkan ke dalam tanah perlahan hingga kedalaman mencapai setinggi kolom. Dalam laboratorium kolom dialiri air hujan buatan dengan pH bervariasi: 4,5; 4,0; dan 3,5 dari bawah keatas (*ascending*). Air yang keluar dari kolom (air lindi) disampling pada liter ke 5, 10, 15, dan 20. Masing-masing dianalisis kadar Fe dan Ca. Kadar Fe ditentukan dengan metoda o-fenantrolin secara spektrofotometri UV-VIS, dan Ca ditentukan dengan cara titrasi kompleks EDTA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh keasaman air hujan buatan sangat kuat terhadap kadar logam Fe dan Ca dalam air lindi, masing-masing $r^2 = 1$ dan $r^2 = 0,94$. Pelindian logam akibat asam mengikuti persamaan tingkat pertama dengan tetapan reaksi, $k = -2,1439$ untuk Fe, dan $k = -0,2546$ untuk Ca.

Kata kunci : hujan asam, pelindian, leaching, simulasi, Fe, Ca

Pengantar

Daerah Citeureup dan Cibinong Kabupaten Bogor merupakan wilayah industri, padat transportasi, dan berdebu dengan jumlah industri mencapai 2.944 buah. Kepadatan penduduk di daerah ini rata-rata 4.131 jiwa/km². Penduduk di wilayah ini yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air minum mencapai 75,63% (BPS, 2008). Studi kasus hujan asam di wilayah industri Citeureup Bogor menunjukkan bahwa hujan asam terjadi dengan intensitas tinggi yaitu pH 4,7 terkonsentrasi pada daerah sekitar pusat industri dengan radius beberapa km. Intensitas hujan asam semakin menurun dengan semakin jauh jarak dari pusat hujan asam sampai radius 10 km dan kembali normal (pH > 5,6) pada jarak > 20 km (Sutanto *et.al.*, 2002). Diperkirakan hujan asam di wilayah ini akan terus berlangsung dan semakin meningkat intensitasnya dan akan berdampak pada tercucinya (*leaching*) mineral-mineral dalam tanah dan masuk kedalam air sumur penduduk.

Hujan asam memiliki pH air hujan kurang dari 5,6 (Menz dan Hans, 2004) dan (Manahan, 2005). Hujan asam yang masuk ke tanah dapat menyebabkan pelindian (*leaching*) logam Fe dan Ca sehingga masuk kedalam sumur. Logam Fe dalam tanah dapat berbentuk sebagai senyawa Fe_2O_3 (hematite), FeOOH (geotit), dan $\text{Fe}_5(\text{O}_4\text{H}_3)_3$ (ferihidrit). Logam Fe dapat ditranslokasikan dari dekomposisi mineral menjadi bentuk ion Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, dan $\text{Fe}(\text{OH})^4$ (Tan. 1982). Ketergantungan kelarutan Fe terhadap asam berbanding lurus. Pada pH 7 kelarutan Fe $< 0,001$ mg/L dan pada pH 3 kelarutan Fe > 2 mg/L (Weiner, 2000). Selain itu kelarutan Fe juga tergantung kepada adanya oksidan (Le-ming *et al.*, 2007), suhu dan ukuran partikel (Pettrakakis *et al.*, 2007). Nwoye *et al.* (2009) menggunakan persamaan $\% \text{Fe} = e^{-2.042 (\ln T)}$ untuk memprediksi % leaching Fe dengan T adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$). Dalam tanah Ca dapat berbentuk sebagai CaO atau CaCO_3 . Dengan adanya air hujan yang mengandung karbon dioksida CaCO_3 akan larut menghasilkan Ca^{2+} dan HCO_3^- . Berdasarkan nilai tetapan kesetimbangan kelarutan karbon dioksida dalam air dan diagram distribusi ketergantungan pH maka jumlah CO_2 semakin banyak apabila pH air rendah $< 5,0$ (Weiner, 2000). Bila air hujan semakin asam maka reaksi pelepasan Ca akan semakin kuat. Selain tingkat keasaman larutan, pelindian logam dari dalam tanah juga tergantung kepada rasio jumlah pelarut terhadap jumlah padatan dalam larutan atau rasio volume cairan dalam liter terhadap berat padatan dalam kg (L/S) (Sloot *et al.*, 2003). Kadar logam dalam air lindi tak lagi berubah setelah dicapai L/S minimal 10. Dalam kenyataan di lapangan rasio ini diwakili oleh curah hujan atau musim. Pada musim kering bukan saja nilai L/S yang dipengaruhi tetapi juga keasaman air sumur. Pada sumur terbuka pH air sumur dalam lebih rendah dari pada musim hujan (Efe *et al.*, 2005).

Pemelitian ini bertujuan untuk: (1) melihat pengaruh tingkat keasaman terhadap pelindian logam Fe dan Ca. (2) Mencari hubungan matematik antara tingkat keasaman air hujan buatan dengan perubahan kadar Fe dan Ca dalam air lindi pada tanah dari wilayah industri Citeureup Bogor.

Metoda Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi peralatan botol/jerigen sampling kapasitas 1 liter, tandon air hujan buatan (ember plastik), kolom leaching dan statif, pH meter (LUTRON), spektrofotometer UV-VIS (Thermo Scientific, seri Genesis 10uv), neraca analitik, penangas air, buret, dan *glassware* lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan adalah: asam sulfat (pa) Merk, asam nitrat (pa) Merk, kertas pH Universal, EDTA, ZnCl_2 , Mureksid, EBT, larutan buffer (pH 4, 7 dan 10), hidroksilamin HCl, amonium hidroksida, kalsium karbonat, aquadest dll.

Metoda

Penelitian simulasi pengaruh pH air hujan terhadap kadar Fe dan Ca dilakukan menggunakan kolom pelindi. Air hujan buatan pada berbagai pH dialirkan ke dalam kolom, dan kadar Fe dan Ca dalam air lindi diamati.

Kolom pelindi dibuat dari paralon \varnothing 3 inchi tinggi 130 cm. Kolom diisi dengan tanah di wilayah penelitian dengan. Pengisian kolom dengan tanah dilakukan dengan

metoda *undisturb*: kolom dimasukkan kedalam tanah perlahan dengan dipandu alat potong tanah sehingga tanah mengisi kolom tanpa ada kerusakan struktur tanah. Kolom selanjutnya dibawa ke laboratorium dan dialiri air hujan buatan (air hujan yang ditampung dan dikondisikan dengan asam sulfat) dengan berbagai pH, berturut-turut air hujan: pH 4,5; 4,0; dan 3,50 dengan metoda *askending*. Air hujan buatan dengan pH tertentu dialirkan ke dalam kolom dan air yang keluar dari kolom (air lindi) disampling dan dianalisis kadar Fe dan Ca pada liter ke 5, 10, 15, dan 20. Rancangan alat dan setting diperlihatkan pada Gambar 1. Data hasil pengukuran di plot untuk melihat kecenderungan perubahan kadar Fe dan Ca air lindi akibat perubahan pH air hujan buatan dan dicari kadar Fe air lindi pada liter ke 50 (rasio L/S =10) demikian juga untuk setiap pH air hujan buatan lainnya yang disimulasikan. Selanjutnya kadar Fe dan Ca air lindi pada rasio L/S masing-masing diplot terhadap pH air hujan buatan untuk melihat kecenderungan perubahan kadar Fe air lindi akibat perubahan pH air hujan buatan, serta untuk menentukan hubungan matematik antara tingkat keasaman dengan peningkatan kadar Fe dan Ca air lindi

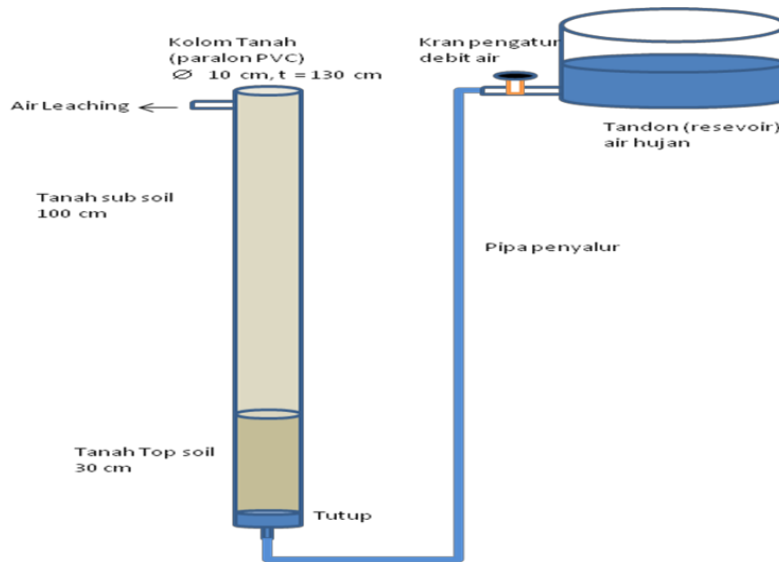
Pembuatan larutan (hujan buatan)

Larutan air hujan buatan dibuat dari air suling dengan penambahan asam nitrat sehingga mencapai pH 4,5; 4,0; dan 3,0 masing-masing dalam volume 30 liter *Penetapan Kadar Besi (APHA, 315.B)*

Sampel air lindi dipekatkan 5 kali dengan cara pemanasan. Penetapan kadar besi dilakukan dengan metoda o-fenantrolin dengan alat spektrofotometer. Ion besi dalam sample dibuat bermuatan 2 dengan hidrosilamin HCl, kemudian pada kondisi larutan pH 2 direaksikan dengan larutan o-fenantrolin. Warna merah intensif diukur serapannya pada panjang gelombang 510 nm. Konsentrasi (mg/L) Fe diperoleh dari absorban sampel dengan perhitungan yang didasarkan garis regresi kurva standar.

Penetapan Kadar Kalsium (APHA, 311 C.)

Sampel air lindi dipekatkan 5 kali dengan cara pemanasan. Penetapan kadar kalsium dilakukan dengan metoda titrimetri, titrasi kompleksometri triplo. Sebagai penitar digunakan larutan standart EDTA pada kondisi larutan pH 10 menggunakan indikator visual Eriokrom Black T. Titik akhir titrasi dicapai saat warna biru indikator muncul.



Gambar 1. Sekema alat percobaan pelindian

Hasil dan Pembahasan

Rata-rata kadar Fe dan Ca air lindi pada berbagai pH air hujan buatan disajikan pada Tabel 1. Pada tabel nampak bahwa kadar Fe maupun Ca semakin menurun dengan semakin bertambahnya rasio L/S. Untuk dapat diperbandingkan kadar Fe dan Ca pada berbagai pH perlu dicari rasio L/S = 10. Pada rasio ini kadar logam dalam air lindi sudah stabil, artinya semakin bertambah besar rasio L/S konsentrasi logam relatif sama atau tidak terpengaruh.

Tabel 1. Rata-rata Kadar Fe dan Ca air lindi

L/S rasio	[Fe] (mg/l)			[Ca] (mg/l)		
	pH 4,50	pH 4,00	pH 3,50	pH 4,50	pH 4,00	pH 3,50
1	0,0471	0,1122	0,1783	18,4988	18,0990	18,6450
2	0,0188	0,0626	0,1493	17,4923	18,1400	19,6690
3	0,0203	0,0587	-	14,9043	16,1400	16,2490
4	0,0234	0,0601	0,1148	14,5650	15,1270	16,5310

Keterangan: - missing data

Untuk mendapatkan konsentrasi logam pada rasio L/S = 10, setiap data diplot terhadap rasio L/S sehingga ditemukan Persamaan garis yang dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi logam.

Gambar 2. memperlihatkan plot antara kadar Fe (mg/L) terhadap rasio L/S. Kurva A (pH air hujan buatan = 4,5) memperlihatkan kurva logaritmis dengan nilai $R^2 = 0,65$, $r=0,68$. Kadar Fe menurun dengan semakin bertambahnya rasio L/S mengikuti Persamaan: $[Fe]_{al} = 0,0178 \ln (L/S) + 0,0416$. Kurva B (pH air hujan buatan =4,0) mengikuti Persamaan : $[Fe]_{al} = 0,1145 e^{-0,1935 (L/S)}$ dengan nilai $R^2 = 0,64$, $r = 0,80$ dan kurva C (pH air hujan buatan = 3,5) mengikuti persamaan: $[Fe]_{al} = 0,2033 e^{-0,1445(L/S)}$ dengan nilai $R^2 = 0,9939$, $r = 0,99$. Nilai R^2 disebut koefisien diterminasi yang

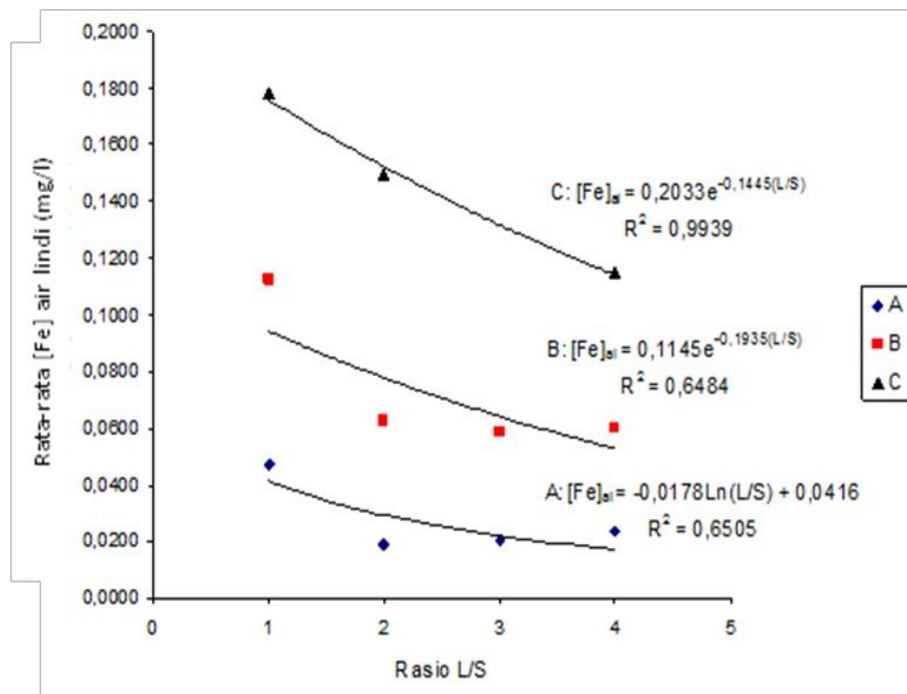
menjelaskan seberapa jauh perubahan kadar logam Fe dapat dijelaskan oleh perubahan L/S. Koefisien regresi linier, r menjelaskan hubungan antara kadar logam dengan L/S.

Dari nilai koefisien determinasi dan korelasi nampak bahwa semakin kecil pH air hujan buatan semakin kuat berpengaruh terhadap pelindian logam Fe. Nilai koefisien korelasi meningkat dari 0,65 menjadi 0,80 dan 0,99. Hal ini sesuai dengan reaksi pelepasan logam bahwa semakin asam proses pelepasan semakin kuat (Weiner, 2000) berdasarkan reaksi sebagai berikut (Manahan, 2005):

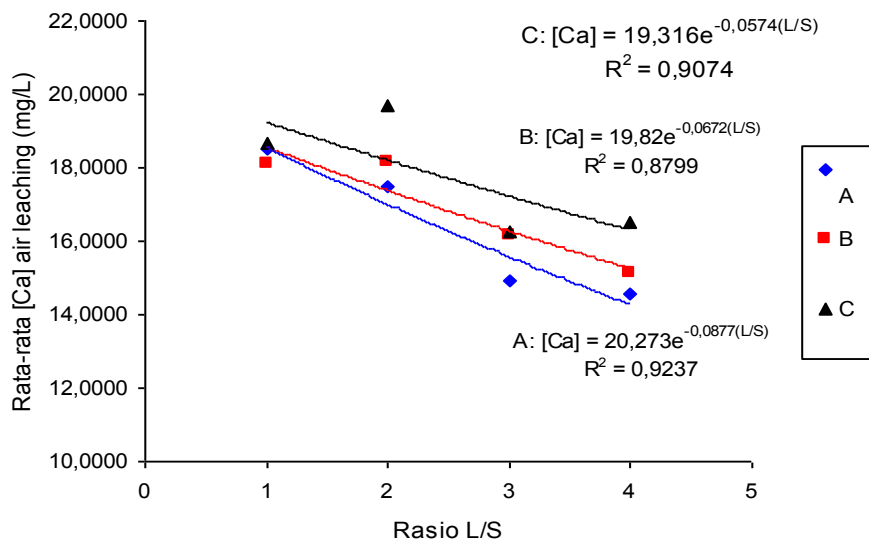


Semakin banyak ion H^+ kondisi semakin asam dan semakin banyak Fe^{3+} terlindi.

Gambar 3 memperlihatkan plot antara rata-rata kadar Ca (mg/L) dalam air lindi terhadap rasio L/S. Penurunan kadar Ca terhadap rasio L/S mengikuti persamaan eksponensial (non linier). Hal ini sesuai dengan percobaan Sloot *et al.* (2003) bahwa pengaruh kadar logam dalam air lindi menurun secara logaritmis dengan semakin besar rasio L/S mengikuti persamaan order pertama. Pola penurunan kadar Ca terhadap L/S sesuai dengan pola penurunan kadar Fe dalam air lindi, yaitu menurun mengikuti reaksi orde pertama, namun kuantitas Ca jauh lebih besar. Fe terleaching berada pada kisaran konsentrasi 0,02- 0,2 mg/l, sedangkan Ca terleaching berada pada kisaran konsentrasi antara 14,5 sampai 19,67 mg/l. Hal ini berarti kelarutan logam Ca jauh lebih besar dibandingkan kelarutan logam Fe pada kondisi yang sama

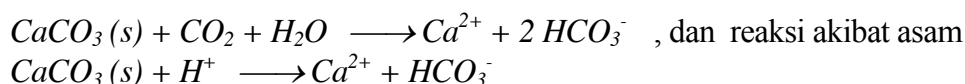


Gambar 2. Kurva perubahan konsentrasi Fe air lindi terhadap rasio L/S dan pH air hujan buatan. Keasaman air hujan (pH) A=4,5 ; B=4,0; dan C=3,5



Gambar 3. Kurva Perubahan Konsentrasi Ca air leaching terhadap rasio L/S dan pH air hujan buatan. Keasaman air hujan (pH) A=4,5 ; B=4,0; dan C=3,5

Tingginya kelarutan Ca dalam tanah disebabkan selain pengaruh asam semakin juga disebabkan adanya peranan gas CO₂ berdasarkan reaksi (Manahan, 2005):



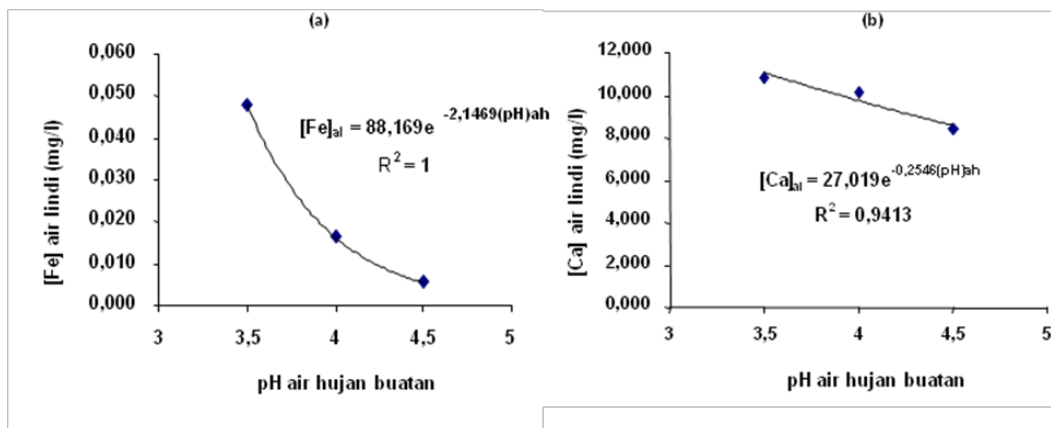
Reaksi tersebut akan bergerak kekanan bilamana jumlah CO₂ terlarut dalam air tanah semakin banyak.

Tabel 2. Kadar Fe dan Ca pada L/S = 10

pH	[Ca] mg/l	[Fe] mg/l
4,5	8,4342	0,0006
4	10,1218	0,0165
3,5	10,8801	0,0479

Perubahan Kadar Fe dan Ca akibat keasaman air hujan buatan

Untuk dapat melihat perbandingan besarnya perubahan konsentrasi Ca dan Fe dalam air lindi pada berbagai pH air hujan, faktor lain yang mempengaruhi perlu disamakan. Percobaan ini dilakukan pada tanah yang sama, dan suhu ruang, sehingga faktor sifat tanah dan suhu sama. Untuk menghilangkan faktor L/S dilakukan perhitungan kadar Fe pada rasio L/S =10. Pada rasio ini konsentrasi logam dalam air leaching sudah relatif stabil, artinya konsentrasi logam dalam air lindi tidak berubah dengan semakin bertambah besar rasio L/S. Perhitungan kadar Fe dan Ca pada L/S = 10 menggunakan persamaan pada Gambar 2 dan 3 diperoleh data seperti disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Pola perubahan kadar logam dalam air lindi pada L/S 10 akibat perubahan pH air hujan buatan hasil simulasi dengan kolom pelindian, (a) pola perubahan Fe, dan (b) pola perubahan Ca

Hasil plot kadar Fe dan Ca dalam air lindi terhadap pH air hujan buatan pada rasio L/S = 10 diperlihatkan pada Gambar 4.

Gambar 4. memperlihatkan pola perubahan kadar Fe(a), dan pola perubahan kadar Ca (b) dalam air lindi akibat pH air hujan buatan. Keduanya menunjukkan hubungan terbalik, semakin besar pH air hujan kadar logam semakin kecil. Dengan kata lain semakin kecil pH (semakin tinggi tingkat keasaman air hujan) semakin banyak logam yang terlindi. Hal ini sesuai dengan Wiener (2000), dan percobaan Liao *et al.*(2007).

Pelindian logam Fe akibat asam mengikuti persamaan: $[Fe]_{al} = 88,169e^{-2,1439(pH)}$, dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 1$. Persamaan kelarutan akibat pH ini adalah persamaan tingkat pertama yang dapat ditulis: $[Fe]_{pH} = [Fe]_{pH_0} e^{-2,1439(pH)}$, dengan kelarutan Fe pada pH = 0 mencapai 88,169 mg/L, dan konstanta laju pelindian akibat pH sebesar, $k = -2,1439$. Nilai koefisien determinasi $R^2 = 1$ menyatakan bahwa kelarutan Fe sangat kuat dipengaruhi oleh pH. Dari persamaan ini dapat dihitung dan dinyatakan bahwa pada pH air hujan 4,5, kelarutan Fe sebesar 0,006 mg/l dan meningkat menjadi 0,05 mg/l pada pH 3,5. Selanjutnya dapat diperhitungkan kelarutan Fe pada pH 2 akan menjadi 1,210 mg/l. Menurut Wiener (2000), kelarutan Fe pada pH 2 > 2 mg/l. Perbedaan ini dapat disebabkan karena beberapa faktor berpengaruh, terutama dalam hal ini laju alir. Pada percobaan pelindian ini laju alir tak dapat dikontrol, dan jauh lebih lambat dari yang diharapkan. Kecepatan alir air hujan diharapkan sama atau mendekati laju infiltrasi di lapangan lebih kurang 1,5 cm/detik. Dengan laju sebesar ini, berpadanan dengan waktu tinggal air lindi dalam kolom sekitar 86,6 detik. Pada kenyataannya kolom mampat karena mungkin terbentuk partikel halus yang menutup pori-pori tanah sehingga aliran tertahan, sehingga untuk mengalirkan air hujan buatan dan mendapatkan air lindi 5 liter memerlukan waktu 5 hari (seharusnya ±1 jam 20 menit), dan untuk mendapatkan air lindi 20 liter memerlukan waktu hampir 1 bulan. Laju alir yang lambat akan memperlambat proses pelindian.

Pelindian Ca akibat hujan asam buatan mengikuti persamaan $[Ca]_{al} = 27,019 e^{-0,2546}$ (pH) dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9413$. Persamaan ini merupakan persamaan tingkat pertama dengan konstanta reaksi $k = -0,2546$. Pengaruh pH terhadap kelarutan Ca sangat kuat. Meskipun kelarutan Ca dalam tanah juga dipengaruhi oleh adanya CO_2 atau karbonat, namun kelarutan Ca terutama ditentukan pH (Tiruta *et al.*, 2004).

Kesimpulan

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa kelarutan Fe dan Ca dari dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tingkat keasaman air hujan buatan. Pengaruh keasaman terhadap kelarutan Fe sangat kuat ($r = 1$), dan juga berpengaruh kuat terhadap kelarutan Ca ($r = 0,94$). Hubungan matematik antara tingkat keasaman dan kelarutan Fe mengikuti persamaan tingkat pertama dengan tetapan k sebesar $-2,1439$, dan kelarutan Ca mengikuti persamaan tingkat pertama dengan tetapan k sebesar $-0,2546$.

Daftar Pustaka

- [APHA]. 2005. Standart Methods For the Examination of Water and Waste Water, 14^{ed}. APHA. Washington D.C. 2005.
- [BPS]. 2008. Biro Pusat Statistik. Kabupaten Bogor dalam Angka. BPS Kab. Bogor.
- Efe SI, Ogban FE, Horsfall M Jnr, Akporhonor EE. 2005. Seasonal Variations of Physico-chemical Characteristics in Water Resources Quality in Western Niger Delta Region, Nigeria. *J. Appl.Sci. Environ. Mgt.* Vol 9(I) 191-195.
- Le-ming OU, Rong-quan HE, Qi-ming F, 2007. Influence factors of pyrite leaching in germ-free system. *J.Cent.South Univ. Technol* (2007)01-0028-04.
- Liao B, Guo Z, Zeng Q, Probst A, Probst J L. 2007. Effects of Acid Rain on Competitive Releases of Cd, Cu, and Zn from Two Natural Soils and Two Contaminated Soils in Hunan, China. *Water, Air and Soil Pollution:* Vol. 7, No 1-3 (2007) , pp. 151-161.
- Manahan S. 2005. Environment Chemistry, Lewis Publ. Boca Raton.
- Menz FC dan Hans SM, 2004, Acid rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Science & Policy.* Vol.7: 253-265.
- Nwoye CI, Gideon CO, Udockchuku M, Stanley I, Chinedu CN, 2009. Model form Calculating the Concentration of Leached Iron Relative to the Final Solution Temperature during Sulphuric Acid Leaching of Iron Oxide Ore. *New York Science Journal*, 2009, 2(3), ISSN 1554-0200.
- Petrakakis Y, Mylona E, Georgantas D, Geigoropoulou H. 2007. Leaching of Lead From Clinoptilolite at Acidic Conditions. *Global Nest Journal*, Vol 9. N0.3, pp 207-213.
- Sutanto, Ani I, Yusnira, 2002, Profil hujan asam di wilayah industri Citeureup-Cibinong Bogor, *Ekologia*, vol 2 no.2, 1-6.
- Tan KH. 1982. Dasar-dasar Kimia Tanah. Gadjah Mada Univesity Press. Yogyakarta.
- Tiruta BL, Apichat I, Radu B. 2004. Long-term prediction of leaching behavior of pollutants from solidified wastes. *Advances in Environment Research* 8 (2004) 697-711.

- van der Sloot, van Zomeren A, Seignette P, Comans RNJ, van Zomeren A, Dijkstra JJ, Meeussen H, Hjelmar KDSO. 2003. Evaluation of environmental aspects of alternative material using an integrated approach assisted by a database/expert system. *Advances in Waste Management and Recycling*, September 2003, Dundee
- Weiner ER. 2000. *Applications of Environmental Chemistry*. Lewis Publisher, CRC Press. Boca Raton.