

PENYARINGAN AIR TANAH DENGAN ZEOLIT ALAMI UNTUK MENURUNKAN KADAR BESI DAN MANGAN

Abdur Rahman, Budi Hartono

Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

Abstrak

Di daerah pedesaan kebanyakan orang menggunakan air tanah untuk kebutuhan hidup mereka sehari-hari. Seringkali air ini mengandung Fe dan Mn yang tinggi. Guna mendapatkan peralatan yang sederhana, murah dan dapat diandalkan untuk menurunkan Fe dan Mn, telah dirancang suatu kolom gelas berisi zeolit untuk menyaring air tanah. Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi penyaringan yang optimum. Zeolit alami asal Bayah ditumbuh dan dihaluskan menjadi butiran-butiran kecil berdiameter sekitar 3 mm. Setelah dicuci dengan *aquadest* dan dikeringkan di udara terbuka, butiran-butiran ini kemudian dikemas dalam kolom gelas berukuran 4 × 50 cm. Kolom zeolit ini selanjutnya dipasang vertikal, diisi *aquadest* untuk memadatkannya, lalu dikeringkan. Ke dalam kolom ini dituangkan 500 mL sampel air tanah. Dengan mengatur keran kolom, sampel air disaring dengan laju filtrasi 16 mL/menit. Filtrat-filtrat dikumpulkan setiap interval waktu 30 menit selama 2,5 jam untuk diukur konsentrasi Fe dan Mn-nya. Percobaan diulang untuk laju filtrasi 14, 12, 10, 8, 6, 4 dan 2 mL/menit. Konsentrasi Fe dan Mn, waktu kontak dan laju filtrasi diubah menjadi grafik waktu kontak terhadap konsentrasi untuk laju filtrasi yang bersangkutan. Kedua grafik menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk menghilangkan Fe dan Mn adalah 30 menit untuk waktu kontak dan 2 mL/menit untuk laju filtrasi. Pada kondisi ini, zeolit Bayah menurunkan Fe sebanyak 55% tetapi hanya 40% Mn dalam air tanah yang mengandung 3,6 mg/L Fe dan 0,7 mg/L Mn. Sayangnya, kondisi optimum ini hanya menghasilkan debit air 2,88 L/hari. Secara kuantitatif, dengan laju filtrasi 2 mL/menit, sampai 2,5 jam waktu kontak, Fe hanya mampu diturunkan sampai 1,12 mg/L (baku mutu: 1,0 mg/L) padahal Mn bisa sampai nol. Disimpulkan bahwa zeolit Bayah cukup efektif mengurangi Fe dan Mn dalam air tanah, meskipun kapasitas penurunan untuk Mn lebih baik dari pada Fe, sedangkan kolom zeolit belum bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari karena debitnya masih rendah.

Abstract

Ground Water Filtration by Natural Zeolit to Reduce Iron and Manganese Levels. In rural areas most people use ground water for their daily purposes. Frequently, the water has high levels of Fe dan Mn. To provide a simple, cheap and reliable apparatus to reduce Fe and Mn, a zeolit column has been designed for filtering ground water. The objective of this experiment was to establish the optimal condition of the filtration. Natural zeolit of Bayah origin was crushed and grounded into small particles of approximately 3 mm in diameter. After washed with distilled water and dried in open air, the particles were then packed in a 4 × 50-cm glass column. The zeolit column was installed vertically, watered with distilled water to compact, and dried. Then 500 mL of ground water sample was poured onto the prepared zeolit column. By adjusting the stopcock, the water samples were filtered off at a flowrate of 16 mL/min. Filtrates were collected with interval of 30 minutes for 2.5 hours and subjected to Fe and Mn analysis. The experiment was repeated for filtration rates of 14, 12, 10, 8, 6, 4, and 2 mL/min. Fe and Mn concentrations, contact times, and flowrates were converted into scattered-plot graphs of contact times versus concentrations. The graphs show that the optimum condition for Fe and Mn removals were 30-minute contact time and 2-mL/minute flowrate. At this, the Bayah zeolit Fe was reduced for 55% but it was only 40% for Mn in ground water containing 3.6 mg/L Fe and 0.7 mg/L Mn. However, at the optimum condition water debit of the zeolit column was only 2.88 L/day. Quantitatively, with filtration rate of 2 mL/minute, up to 2.5 hours contact time the Fe was only reduced to as much 1.12 mg/L (standard: 1.0 mg/L) while the Mn reduced to nil. It was concluded that the Bayah zeolit was effective to reduce Fe and Mn in ground water, although reducing capacity for Mn was better than for Fe, whereas the column could not be applied for daily purposes due to its low water debit.

Keywords: filtration, ground water, zeolit, ion exchanger, iron, manganese, contact time

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan hidup manusia yang sangat vital. Secara langsung air diperlukan untuk minum, memasak, mandi, mencuci dan bersuci. Secara tidak langsung air dibutuhkan sebagai bagian ekosistem yang dengannya kehidupan di bumi dapat berlangsung. Namun, air juga bisa menjadi sarana berbagai zat toksik dan organisme patogen yang membahayakan manusia. Di negara-negara sedang berkembang saat ini, hampir 25 juta orang mati setiap tahun karena pencemaran biologis dan kimia dalam air¹. Ini didukung oleh laporan *World Resource Institute 1998-1999*, bahwa ada 1,4 juta orang di seluruh dunia yang tidak terjangkau oleh pasokan air minum yang aman².

Di Indonesia cakupan pelayanan air bersih masih rendah. Perusahaan penyedia air bersih (PAM (Perusahaan Air Minum) atau PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) hanya mampu memasok kebutuhan di kota-kota saja dengan kuantitas yang juga masih kecil. Akibatnya, sebagian besar masyarakat yang tidak terjangkau oleh pelayanan air bersih umumnya menggunakan air tanah atau air permukaan untuk keperluan hidupnya sehari-hari. Namun, kedua sumber air ini sering kali hanya dapat memenuhi kebutuhan secara kuantitatif. Tanpa pengolahan, kualitas fisik, kimiawi dan biologis air permukaan dan air tanah di sebagian besar wilayah Indonesia belum memenuhi standar^{3,4} (Peraturan Menteri Kesehatan No.: 416/1990 dan Keputusan Menteri Kesehatan No.: 907/2002) sehingga tidak layak untuk diminum. Di sebuah kelurahan di Jakarta Selatan misalnya, 57% sampel air tanahnya sudah tidak memenuhi syarat bakteriologis air bersih⁵.

Sebagai negara yang alamnya kaya mineral, air tanah di Indonesia sering mengandung besi dan mangan cukup tinggi. Di dalam air kedua logam ini selalu ada bersama-sama. Bagi manusia kedua logam adalah esensial tetapi juga toksik⁶. Keberadaannya dalam air tidak saja dapat dideteksi secara laboratoris tetapi juga dapat dikenali secara organoleptik. Dengan konsentrasi Fe atau Mn sedikitnya 1 mg/L, air terasa pahit-asam, berbau tidak enak dan berwarna kuning kecoklatan⁷.

Pada skala industri, Fe dan Mn dalam air biasanya diturunkan dengan mengaerasi air pada pH>7 sehingga kedua logam ini mengendap sebagai oksidanya⁸. Proses lain adalah mengikat Fe dan Mn dengan suatu *cation exchanger*⁹. Kedua cara ini tidak dapat dilakukan oleh masyarakat umum karena memerlukan sarana, peralatan dan bahan yang mahal, sedangkan penyaringan konvensional menggunakan pasir dan ijuk hanya dapat memperbaiki kualitas fisik air seperti kekeruhan. Namun, sesungguhnya di Indonesia tersedia penukar ion alami yang murah dan mudah didapat. Zeolit adalah salah satu penukar ion alami yang banyak tersedia. Misalnya, di Bayah, Kabupaten Lebak, zeolit sangat berlimpah berupa pecahan sisa batuan besar-besar yang diekspor.

Kemampuan zeolit sebagai *ion exchanger* telah lama diketahui dan digunakan sebagai penghilang polutan kimia¹⁰. Dalam air zeolit juga ternyata mampu mengikat bakteri *E. coli*¹¹. Kemampuan ini bergantung pada laju penyaringan dan perbandingan volume air dengan massa zeolit. Tetapi, untuk logam variabel-variabel yang mempengaruhi efektivitas penukaran kation belum diketahui.

Guna mendapatkan cara dan alat yang mudah, murah dan handal untuk mengolah air tanah yang mengandung Fe dan Mn berkadar tinggi menjadi layak sebagai air baku air minum, telah dibuat sistem penyaringan sederhana dengan zeolit alami asal Bayah sebagai *cation exchanger*-nya. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui waktu kontak dan laju filtrasi optimum.

2. Metode Penelitian

Zeolit diperoleh dari penambangan di Bayah, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, berupa sisa-sisa bongkahan yang tidak terpakai untuk diproses secara masinal menghasilkan *granule* berkualitas ekspor. Kerikil ini dipecah dan ditumbuk menjadi pasir besar berdiameter sekitar 3 mm. Pasir zeolit selanjutnya dicuci dengan akuades beberapa kali untuk menghilangkan debu dan serbuknya yang lebih kecil, kemudian dikeringkan di udara terbuka dalam ruangan ber-AC (*Air Conditioning*). Setelah kering pasir zeolit dipak dalam kolom gelas ber-*stopcock* berdiameter 4 cm panjang 50 cm (volum kolom \approx 2,5 L). Kolom berzeolit kemudian dipasang vertikal pada statif, diketuk-ketuk agar padat dan dialiri akuades untuk *conditioning* sehingga kolom terisi zeolit separuhnya (25 cm). Kolom siap pakai untuk eksperimen setelah seluruh airnya dikeringkan dengan membuka *stopcock*-nya.

Dalam eksperimen ini digunakan air tanah untuk pasokan air bersih Laboratorium Kesehatan Lingkungan FKM-UI, Gedung C Lantai 3 FKM-UI, sebagai sampel. Air ini mengandung Fe dan Mn tinggi karena pemipanya menggunakan logam. Sampel diperoleh dengan menampung air keran sekitar 1 jam sebelum eksperimen.

Seluruh eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Lingkungan FKM-UI, Depok. Setiap kali *running* dipakai 500 mL sampel air, divariasi menurut waktu kontak (W_k) dan laju filtrasi atau kecepatan alir (V_f) dengan 3 replikasi kolom. Konsentrasi Fe dan Mn diukur secara spektrofotometri menggunakan DR/2000 Spectrophotometer (HACH, USA). Pengukuran Fe memakai metoda No. 270 untuk Fe total, sedangkan Mn dengan metoda No. 295 untuk Mn^{2+} . Eksperimen dilakukan dengan cara kerja sebagai berikut:

1. Sebelum sampel air tanah difiltrasi dalam kolom zeolit, beberapa parameter penting diukur secara spektrofotometri (DR/2000 Spectrophotometer, HACH, USA) untuk mengetahui karakteristik awalnya, yaitu pH, warna, bau, rasa, NH_3 , H_2S , Fe dan Mn.
2. Kolom zeolit diisi dengan sampel air tanah sampai kira-kira 2/3-nya dengan *stopcock* tertutup. *Stopcock* kemudian dibuka dan bukannya diatur-atur untuk mendapatkan V_f 16 mL/menit. Segera setelah V_f 16 mL/menit didapat, filtrat ditampung dan diukur konsentrasi Fe dan Mn-nya. Hasil pengukuran ini dinyatakan sebagai $W_k = 0$ menit. Sampel dibiarkan mengalir dari kolom dan filtratnya ditampung untuk diukur Fe dan Mn-nya pada menit ke-30, 60, 90, 120 dan 150.
3. Prosedur (2) diulang untuk V_f 14, 12, 10, 8, 6, 4 dan 2 mL/menit dan W_k 30, 60, 90, 120 dan 150 menit.
4. Data hasil pengukuran konsentrasi Fe dan Mn ditabulasi. Konsentrasi Fe dan Mn dalam filtrat hasil eksperimen kemudian dikonversi menjadi grafik untuk mendapatkan kondisi penyaringan optimum.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik sampel air disajikan dalam Tabel 1 sedangkan data hasil eksperimen tertera dalam Tabel 2 untuk Fe dan Tabel 3 untuk Mn. Dengan *Excel* selanjutnya data tersebut diubah menjadi grafik W_k versus konsentrasi Fe atau Mn dalam filtrat untuk masing-masing V_k . Grafik 1 menyatakan penurunan konsentrasi Fe dan Grafik 2 untuk Mn menurut 5 variasi waktu kontak masing-masing.

Sampel air tanah mengandung Fe dan Mn sangat tinggi (Tabel 1). Dalam salah satu sampel air, konsentrasi Fe (3,6 mg/L) 3,6 kali baku mutunya (1,0 mg/L) sedangkan Mn (0,7 mg/L) hanya 1,4 kali dari baku mutunya (0,5 mg/L).

Umumnya konsentrasi Mn dalam air 0,001-0,1 mg/L¹² sehingga Mn dalam sampel tidak biasa. pH juga cukup asam banyak garam Fe dan Mn dapat larut. Konsentrasi Fe dan Mn yang tinggi juga tampak secara visual, air berwarna kuning kecoklatan. Hasil analisis memang menunjukkan bahwa warna sampel air 5,4 kali lebih besar dari pada baku mutunya.

Secara fisiologis Fe dan Mn berperan ganda sebagai logam esensial tetapi juga bisa toksik. Batas pemisahannya adalah konsentrasinya. Fe terutama terdapat sebagai *heme* dari molekul hemoprotein, *transferin* (protein pengangkut) dan *ferritin* (gudang besi). *Intake* Fe yang terlalu besar bisa menyebabkan logam ini terakumulasi sebagai *ferritin*. Senyawaan ini sangat toksik karena berbentuk $Fe(OH)_3$, sumber besi untuk reaksi

Tabel 1. Nilai beberapa parameter penting sebagai karakteristik sampel air tanah

Parameter	Satuan	Maksimum*	Hasil Ukur
Bau	-	Tidak berbau	Berbau besi
Rasa	-	Tidak berasa	Berasa besi
Warna	TCU	50	270
pH	-	6,5 – 9,0	6,2
NH_3	mg/L	0,5	0,12
H_2S	mg/L	0,05	0,04
Fe	mg/L	1,0	3,6
Mn	mg/L	0,5	0,7

*) Permenkes 416/1990

Tabel 2. Konsentrasi Fe (mg/L) dalam sampel air awal dan filtrat kolom zeolit menurut laju filtrasi (V_f , mL/ menit) dan waktu kontak (W_k , menit)

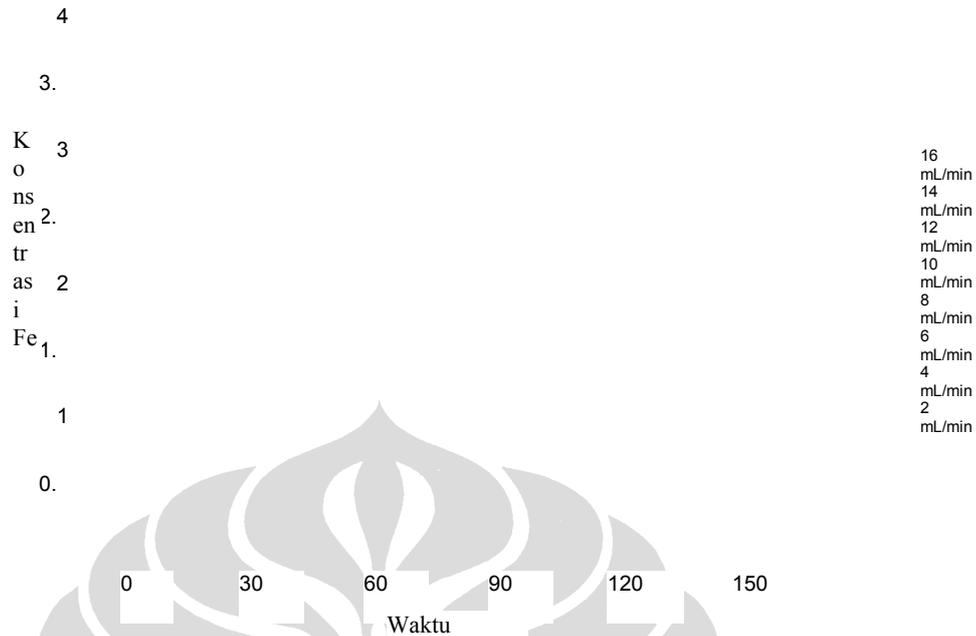
V_f	W_k					
	0	30	60	90	120	150
16	3,54	3,30	3,12	3,08	2,94	2,86
14	3,56	3,16	3,08	2,86	2,78	2,69
12	3,58	2,85	2,72	2,64	2,56	2,49
10	3,62	2,57	2,42	2,36	2,12	2,03
8	3,64	2,43	2,32	2,25	2,17	2,06
6	3,50	2,23	2,18	2,05	1,82	1,70
4	3,68	1,92	1,78	1,64	1,46	1,35
2	3,70	1,68	1,52	1,44	1,24	1,12

Tabel 3. Konsentrasi Mn (mg/L) dalam sampel air awal dan filtrat kolom zeolit menurut laju filtrasi (V_f , mL/ menit) dan waktu kontak (W_k , menit)

V_f	W_k					
	0	30	60	90	120	150
16	0,70	0,54	0,42	0,37	0,16	0,08
14	0,72	0,49	0,42	0,31	0,14	0,07
12	0,71	0,49	0,32	0,20	0,11	0,06
10	0,73	0,45	0,32	0,19	0,13	0,06
8	0,71	0,50	0,28	0,19	0,13	0,04
6	0,69	0,47	0,31	0,21	0,14	0,04
4	0,69	0,42	0,29	0,12	0,04	0,01
2	0,70	0,42	0,21	0,09	0,02	0,00

peroksidasi lipid yang dapat menghasilkan radikal yang akhirnya bisa mengganggu oksidasi tingkat seluler dan GSH¹³.

Pada penelitian ini digunakan zeolit alami tanpa perlakuan (aktivasi) apapun, baik secara fisika maupun kimia. Kemampuan zeolit sebagai *iron-exchanger* dengan menghasilkan *reactive oxygen species* sudah lama diketahui, terutama yang berkaitan dengan proliferasi kanker, yang dilaporkan dalam berbagai literatur^{14,15}. Pembentukan radikal ini menyebabkan zeolit bisa menurunkan *E. coli* dalam air seperti yang ditemukan¹¹.



Grafik 1. Penurunan konsentrasi Fe (mg/L) dalam sampel air setelah melalui kolom zeolit pada berbagai waktu kontak (W_k) dan laju filtrasi (V_f).



bagai waktu kontak (W_k) dan laju filtrasi (V_f).

Grafik 1 dan Grafik 2 menunjukkan bahwa zeolit Bayah, yang termasuk jenis *modernite*, mempunyai kemampuan cukup baik untuk menyerap Fe dan Mn dalam air. Tampak juga, waktu kontak dan laju filtrasi mempengaruhi penurunan Fe dan Mn. Semakin perlahan sampel air mengalir dalam kolom, semakin efektif penurunan konsentrasi Fe dan Mn. Namun, waktu kontak yang dibutuhkan zeolit untuk menurunkan Fe secara maksimum lebih singkat dari pada untuk Mn. Dengan laju filtrasi 2 mL/menit, dalam waktu 30 menit konsentrasi Fe dapat diturunkan sekitar 55% sedangkan Mn hanya 40%. Ini menyatakan bahwa kemampuan zeolit menyerap Fe lebih baik dari pada menyerap Mn.

Ada dua hal yang tampak kontroversi. Pertama, dalam eksperimen ini konsentrasi Fe lebih besar dari pada Mn (sekitar 5 kali lipat). Ini berarti kerja zeolit terhadap Fe lebih berat dibandingkan terhadap Mn sehingga seharusnya Fe lebih sukar diturunkan konsentrasinya dari pada Mn. Kedua, spesi kimia yang diukur berbeda. Teknik spektrofotometri untuk analisis Fe yang dipakai adalah untuk semua spesi Fe (Fe total), sedangkan untuk Mn hanya Mn^{2+} . Jadi, seharusnya prosentase penurunan konsentrasi Mn lebih besar daripada Fe. Mekanisme pengikatan Fe dan Mn dapat menerangkan kontroversi ini.

Fach *et al.*¹⁰ telah membuktikan bahwa zeolit dapat mengikat Fe dengan membentuk senyawaan koordinasi. Aluminosilikat, sebagai bagian struktur zeolit $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot wH_2O$, berfungsi sebagai ligan. Ligasi Mn lebih sukar terjadi dibandingkan Fe karena Mn mempunyai ukuran lebih besar dari pada Fe (nomor atom Mn 26 dan Fe 27). Karena itu zeolit lebih mudah mengikat Mn daripada Fe.

Dalam W_k dan V_f yang sama, konsentrasi Mn dapat diturunkan menjadi nol sedangkan Fe tidak dapat. Kurva 2 mL/menit Mn tampak hampir datar pada W_k 150 menit, sementara kurva laju filtrasi yang sama untuk Fe masih tajam (karena konsentrasinya belum nol). Ini meninggalkan sisa eksperimen untuk $W_k > 150$ menit yang belum dilakukan dalam studi ini.

Ada beberapa sebab mengapa efektivitas zeolit Bayah untuk menurunkan Fe masih rendah, yaitu (1) ukuran pasir zeolit masih besar sehingga luas permukaannya kecil yang mengakibatkan daya adsorpsi zeolit masih rendah, (2) karena ukuran pasir besar maka jumlah zeolit yang dapat dipak dalam kolom hanya sedikit; artinya rasio zeolit terhadap air di dalam kolom menjadi kecil, (3) zeolit yang dipakai tidak diaktivasi terlebih dahulu, kecuali dicuci dengan akuades. Seperti ditunjukkan Fach *et al.*¹⁰, permukaan zeolit banyak mengandung Fe yang teradsorpsi. Atas dasar ini, variabel efektivitas penyaringan harus ditambah dengan rasio zeolit-air, bukan hanya waktu kontak dan laju filtrasi. Dalam studi ini variabel rasio zeolit-air tidak ditentukan yang merupakan keterbatasan eksperimen ini.

Kemampuan zeolit meniadakan Mn selama 2,5 jam dengan laju 2 mL/menit patut mendapat perhatian khusus. RDA (*recommended daily allowance*) Mn 2-5 mg/hari¹⁶. Bila konsumsi air minum 2 L/hari dan RSC (*relative contribution source*) air untuk Mn 80% (*US-EPA=State Environmental Protection Agency, 1990*), maka sumbangan minimal Mn dari air minum (K_A) adalah:

Angka 0,8 mg/L ini hanya didasarkan pada esensialitas. Padahal Mn juga bersifat toksik dengan RfD (*reference dose*) 10 mg Mn per kg berat badan per hari sehingga volum yang dapat dikonsumsi manusia harus dibatasi. Menteri Kesehatan RI menetapkan baku mutu Mn untuk air 0,5 mg/L (Permenkes 416/1990). Jadi, Mn dalam air minum tidak boleh nol karena bisa menimbulkan defisiensi. Defisiensi banyak dilaporkan seperti rangka tubuh yang tidak normal, gangguan pertumbuhan, gangguan reproduksi, ataksia dan kelainan metabolisme lipid dan karbohidrat¹².

Berdasarkan eksperimen yang optimum, filtrasi hanya menghasilkan air dengan debit:

Dengan debit 2,88 L/hari ini jumlah air yang dihasilkan per hari terlalu sedikit yang hanya cukup untuk minum satu orang saja. Keluarga dengan 3 orang anak membutuhkan sekurang-kurangnya 10 L air minum per hari, bila orang tuanya minum 2,5 L/orang/hari dan anak-anaknya 1,5 L/orang/ hari. Untuk memenuhi kebutuhan ini kolom zeolit harus mampu bekerja dengan laju filtrasi 694 mL/menit atau sekitar 12 mL/detik. Angka ini sangat tidak realistis. Tetapi, konsentrasi Fe dalam sampel air tanah juga sebenarnya tidak representatif. Sampel air tanah yang diambil telah melalui sistem pemipaan berlogam, bukan air alami. Konsentrasi Fe tertinggi yang pernah ditemukan dalam air permukaan, yang digunakan penduduk setempat sebagai sumber air untuk air minum, adalah 2,44 mg/L. Ini adalah air sungai Ciliwung bagian hulu di Cisampay, Cisarua, Bogor¹⁷.

4. Kesimpulan

Eksperimen ini mempelajari pengaruh waktu kontak dan laju filtrasi penyaringan air tanah dengan zeolit untuk menurunkan konsentrasi Fe dan Mn. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Zeolit Bayah tanpa perlakuan cukup efektif dapat menurunkan konsentrasi Fe dan Mn dalam air tanah. Efektivitas zeolit dalam menurunkan konsentrasi Mn lebih baik dari Fe. Kondisi optimum penyaringan untuk waktu kontak adalah 30 menit dan untuk laju filtrasi 2 mL/menit. Debit penyaringan dengan kolom gelas berdiameter 4 cm dan tinggi 50 cm, dengan waktu kontak 30 menit dan laju filtrasi 2 mL/menit masih sangat kecil yang hanya cukup untuk kebutuhan minum satu orang per hari.

Beberapa saran yang dapat diajukan antara lain: Variabel penyaringan air tanah dengan zeolit perlu ditambah dengan rasio zeolit-air, selain W_k dan V_f . Khusus untuk penurunan Fe, W_k perlu diperpanjang >150 menit sampai diperoleh konsentrasi Fe yang sekecil-kecilnya. Ukuran zeolit dalam kolom harus diperkecil untuk (a) menambah luas permukaan sehingga daya adsorpsi bisa lebih besar dan (b) meningkatkan rasio zeolit-air sehingga debit bisa bertambah.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti berterimakasih kepada Lembaga Penelitian UI yang telah mengalokasikan dana DIKMAKS-2002. Terima kasih juga disampaikan kepada AR, Pj Kepala Lab KL FKM-UI, yang telah memberi berbagai kemudahan, termasuk penggunaan spektrofotometer DR/2000 untuk analisis.

Daftar Pustaka

1. Platt AE. Controlling infectious diseases. In: Brown LR, editor. *State of the World*. London: Earthscan, 1996.
2. Schimdt C. Environmental Health 2000. *Environ Health Perspect* 1998; 106: A600-A603.
3. Departemen Kesehatan RI. Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/MenKes/SK/VII/2002. Jakarta: Departemen Kesehatan RI, 2002.
4. Departemen Kesehatan RI. Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MenKes/Per/IX/1990. Jakarta: Departemen Kesehatan RI, 1990.
5. Satyaningsih AL. *Gambaran Kualitas Mikrobiologis Air Tanah di Daerah Rawan Banjir dan Bebas Banjir di Kelurahan Bintaro, Jakarta Selatan Tahun 1999*. Skripsi Sarjana. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Indonesia, 1999.
6. Maines MD. Modulating factors that determine interindividual differences in response to metal. In: Mertz W, Abernathy CO, and Olin SS, editors. *Risk Assessment of Essential Elements*. Washington: ILSI Press, 1994: 221-268.
7. Csuros M. *Environmental Sampling and Analysis for Technicians*. Boca Raton: Lewis Publisher, 1994.
8. Benefield LD, Morgan JS. Chemical precipitation. In: Pontius FW, editor. *Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1990: 641-708.
9. Clifford DA. Ion exchange and inorganic adsorption. In: Pontius FW, editor. *Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1990: 561-640.
10. Fach E, Waldman WJ, Williams M, Long J, Meister RK, Dutta PK. Analysis of the biological and chemical reactivity of zeolit-based aluminosilicate fibers and particulates. *Environ Health Perspect* 2002; 110: 1087-1096.
11. Yudhasuti R. *Studi Kemampuan Zeolit untuk Menurunkan Jumlah Kuman-Kuman Coliform Air Sungai Ciliwung di Jakarta*. Tesis. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Indonesia, 1993.
12. Keen CL, Zidenberg-Cherr S, Lonnerdal B. Nutritional and toxicological aspects of manganese intake: an overview. In: Mertz W, Abernathy CO, Olin SS, editors. *Risk Assessment of Essential Elements*. Washington: ILSI Press, 1994: 221-268.
13. Maines MD. Modulating factors that determine interindividual differences in response to metal. In: Mertz W, Abernathy CO, and Olin SS, editors. *Risk Assessment of Essential Elements*. Washington: ILSI Press, 1994: 21-43.
14. Rom WN, Travis WD, Brody AR. Cellular and molecular basis of the asbestos-related diseases. *Am Rev Respir Dis* 1991; 143: 408-422.
15. Crouch E. Pathobiology of pulmonary fibrosis. *Am J Physiol* 1990; 259: L159-L184.
16. Browman BA, Risher JF. Comparison of the methodological approaches used in the derivation of recommended dietary allowances and oral reference dose for nutritionally essential elements. In: Mertz W, Abernathy CO, and Olin SS, editors. *Risk Assessment of Essential Elements*. Washington: ILSI Press, 1994: 63-76.

17. Rahman A, Hartono B, Setiakarnawijaya Y. *Pengembangan model pengendalian pencemaran air*. Laporan akhir Risbinkes. Depok: Jurusan Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, 2002.

