

## FILTER KERAMIK TERINDUKSI DARI MAGNET BEKAS DAN SERBUK KALSIT UNTUK PENGOLAHAN AIR BERSIH

### *Ceramic Magnetic Filter from Used Magnet and Limestone Powders for Drinking Water Source Management*

Handoko Setyo Kuncoro dan Abdul Rahman

Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani 392 Bandung 40272 Tlp: (022) 7206221  
e-mail: keramik@bbk.go.id

Naskah diterima : 02 Mei 2016, Rev I : 05 Mei 2016, Diterima : 28 Juni 2016

#### ABSTRAK

*S*tudi awal tentang pembuatan filter keramik terinduksi dari bahan magnet bekas dan serbuk kalsit untuk media pengolahan air telah dicoba menggunakan metoda induksi serbuk magnet. Filter magnetiknya disusun dalam wadah silinder dari bahan berdiameter 45 mm yang berisi serbuk batu gamping kalsit setebal 5 mm dan serbuk magnet barium ferit setebal 40 mm. Kedua lapisan bahan tersebut diinduksi magnet barium ferit berbentuk silinder dengan diameter dalam 50 mm, diameter luar 100 mm dan ketebalan 20 mm. Penerapan unjuk kerja dari filter magnetik terhadap uji kadar besi, jumlah *coliform* total dan jumlah bakteri E. Coli telah menunjukkan respon yang cukup baik sebagai filter air dalam menurunkan: kadar besi dalam air sekitar 0,35 kali (atau 0,13 mg/l), jumlah *coliform* total 0,17 kali (atau 6 per 100 ml) dan meniadakan jumlah bakteri E. Coli (mendekati 0 per 100 ml air dari sebelumnya berjumlah 11 per 100 ml). Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas air keluaran telah memenuhi persyaratan Permenkes untuk sumber air minum (standar air baku) dan filter yang didesain telah berfungsi baik sebagai piranti penjernih air.

**Kata Kunci:** Magnet bekas, batu gamping, filtrasi magnetik, air baku, kadar besi, jumlah coliform, jumlah E. Coli

#### ABSTRACT

*A* preliminary investigation on the utilization ceramic magnet garbage and limestone as drinking water source filter has been performed by using magnetic powder induction method. The magnetic filter was fabricated inside a 45 mm cylinder containing barium ferrite (ceramic magnet) and limestone powders with thickness of 40 and 5 mm, severally. Both material (powders) layers were induced by cylindrical permanent magnet with inner diameter, outer diameter, and the thickness of 50, 100, and 20 mm, respectively. The results of iron content, total coliform and number of E.Coli examinations had shown the filter performances to reduce: the iron content in the

water about 0.35 times (or 0.13 mg/l), the total coliform around 0.17 times (or 6 per 100 ml), and almost absent the number of *E. Coli* (approximately 0 per 100 ml from previously untreated water 11 per 100 ml). They had indicated that the output quality of designed filter have complied and passed the Permenkes requirements for water drinking source.

**Keywords:** Used magnet, limestone, magnetic filtration, water drinking source, iron content, total coliform, number of *E. Coli*

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih terutama pada daerah-daerah di luar pegunungan dan yang tak terjangkau jaringan pipa air bersih PDAM sangat diperlukan untuk kehidupan sehari-hari masyarakat sekitar terutama sebagai sumber air minum dan untuk kebersihan. Umumnya air tanah di luar pegunungan dan daerah perkotaan memiliki kadar besi [1] dan kandungan bakteri *coliform* yang tidak memenuhi syarat Permenkes untuk air bersih [2]. Agar bisa dimanfaatkan sebagai sumber air minum, pengotor logam dan biologi [3] ini harus dihilangkan (difilter). [4]

Meningkatnya penggunaan bahan magnet permanen khususnya magnet keramik (barium ferit) untuk berbagai keperluan (aplikasi audio, stator motor, generator listrik, sensor gerak, batang stirrer, asesoris refrigerator, dll.) [5] dapat menimbulkan masalah meningkatnya barang bekas magnet tersebut [6]. Daur ulang magnet bekas jenis keramik ini tidak dilakukan oleh pihak pengguna magnet, mengingat harga magnet keramik

sangatlah murah [7] sedangkan biaya pengumpulan magnet bekas dan daur ulangnya mungkin dianggap kurang ekonomis. Dalam kajian awal ini telah dicoba untuk meningkatkan nilai guna magnet bekas keramik sebagai filter air tanah menjadi air bersih dengan penambahan batu gamping (atau kalsit).

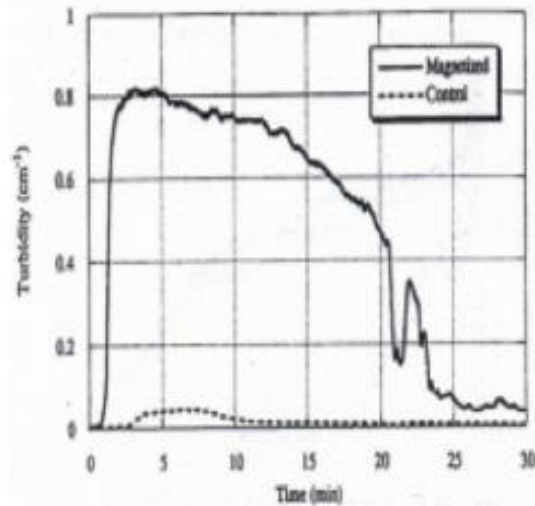
Metoda filter magnetik yang dirancang merupakan teknologi filter yang sederhana (hanya melalui 2 lapis bahan filter) dan murah. Filter-filter air bersih saat ini umumnya memerlukan disain yang rumit (multi tahapan filtrasi) [8], bahan yang relatif mahal (bahan aktif kimia dan batuan) serta beberapa memerlukan tempat yang luas (misalnya filtrasi dengan gravitasi) [9]. Meskipun kajian ini dibatasi pada metode satu jalur pemipaan dengan debit rendah, namun hasil studi awal filter magnetik ini diharapkan akan membawa hasil positif bagi disain filter lebih lanjut yang lebih baik, untuk dipakai di rumah tinggal sehingga bisa meringankan beban kebutuhan air bersih masyarakat di daerah dan perkotaan.

### Dasar-dasar Metode Yang Digunakan

Kajian awal pembuatan filter magnetik untuk air bersih ini ditujukan untuk mengurangi kadar besi dan mikrobakterial *coli* sehingga bisa memenuhi persyaratan Permenkes (kontrol) untuk air baku. Walaupun semua parameter dalam filter bisa dianggap sebagai variabel bebas, namun keberhasilan awal dalam disain magnetik filter ini tetap ditentukan dari hasil uji kualitas air dari keluaran filternya. Sehingga dalam kajian ini, kesimpulan akhir dapat disederhanakan dengan membandingkan kualitas air terhadap standar persyaratan Permenkes air baku dan juga terhadap kualitas air sebelumnya.

Filtrasi partikel mineral besi dalam air dengan magnet permanen padat secara terpisah tidaklah mudah [10] terutama untuk filtrasi bahan mineral paramagnetik [11] seperti hematit dan ilmenit. Namun demikian serbuk magnet yang diinduksi secara magnetik bisa dilewati oleh air sehingga lebih mudah menangkap partikel-partikel mineral ferromagnetik (seperti mineral magnetit atau oksida besi lainnya) maupun mineral paramagnetik. Serbuk magnet yang terinduksi akan membentuk matrik serat dimana selain menarik bahan ferromagnetik juga memiliki fungsi lain sebagai filter terhadap ukuran partikel yang berbeda.

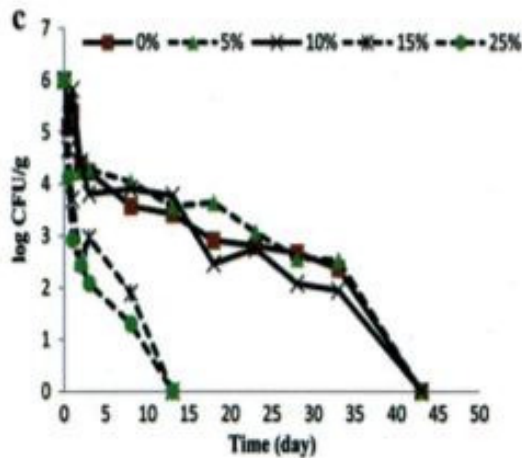
Selain manfaatnya bagi induksi magnetik pada serbuk magnet, efek induksi magnetik lain pada ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  juga menunjukkan peningkatan laju nukleasi dan presipitasi partikel  $\text{CaCO}_3$  dalam air yang bisa menurunkan laju korosi (pelapisan) pipa air oleh ion hidrat  $\text{CO}_3^{2-}$ .



**Gbr. 1** Pengaruh magnetisasi terhadap proses nukleasi dan presipitasi partikel  $\text{CaCO}_3$  melalui pengamatan *turbidity* sebagai fungsi waktu.

Hal tersebut terindikasikan dengan pengamatan *turbidity* terhadap waktu (Gbr. 1) seperti yang telah ditemukan pada fenomena sebelumnya.[8] Fenomena ini dimungkinkan karena adanya efek gaya Lorentz jika ada muatan yang bergerak melewati suatu medan magnet yang membuat pergeseran antara 0,2 – 10 nm untuk jarak antar atom dan 0,2 nm – 2  $\mu\text{m}$  untuk jarak antar partikel.

Keberadaan bahan  $\text{CaCO}_3$  juga sangat membantu dalam mengurangi jumlah *microbial coliform* (seperti bakteri *E. Coli*) terutama pada suhu 37 °C seperti ditunjukkan dari data sebelumnya [13] pada Gbr. 2 berikut. Perlu dicatat disini, baik jumlah *coliform* maupun jumlah *E. Coli*, keduanya dipakai sebagai persyaratan standar dalam Permenkes untuk air bersih (baku). [14][15]



Gbr. 2 Pengaruh kadar CaCO<sub>3</sub> pada *life-time* microbial *E. Coli*

Dalam tanah dengan kadar CaCO<sub>3</sub> diatas 15% nampak *life-time* bakteri *E.Coli* menurun hingga 0,3 kalinya.

Berdasarkan fakta ilmiah kedua hal yang disebutkan terakhir (2 paragraf sebelumnya), magnetisasi bahan yang mengandung CaCO<sub>3</sub> tinggi patut dipertimbangkan sebagai metoda untuk mengurangi *microbacterial coliform*.

#### Perancangan Filter Magnetik Air Baku

Dalam perancangan filter magnetik air baku [16] terbagi dalam dua aktivitas yakni mengolah bahan aktif filter magnetik serta pembuatan wadah dan magnet permanen penginduksi bahan aktif.

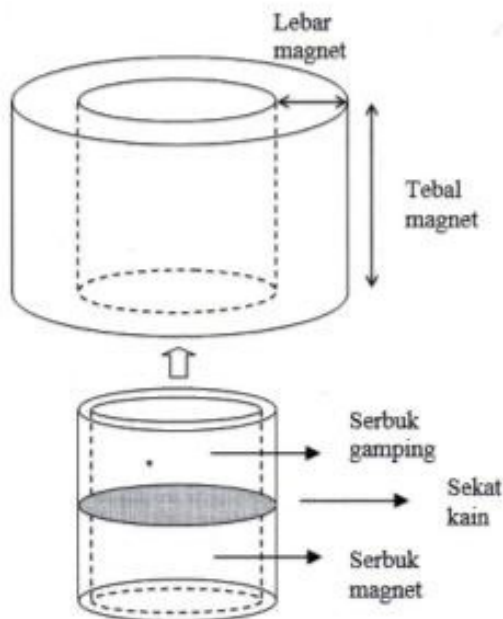
##### - Pengolahan Bahan Aktif Filter

Urutan dan ukuran bahan yang dilalui air tanah yang difilter juga menentukan kualitas air hasil filter. Urutan terbaik bahan aktif filter adalah didahulukan bahan filter dari batu gamping kalsit kemudian baru bahan aktif serbuk magnet. Alasannya adalah

serbuk magnet yang terinduksi akan membantu menyaring butiran pasir gamping yang ikut bersama aliran air. Selain itu serbuk magnet yang terinduksi juga memperkuat induksi magnet terhadap ion Ca<sup>2+</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dalam mempertahankan konsentrasi kandungan CaCO<sub>3</sub> dalam air yang difilter. Semakin kecil ukuran serbuk magnet semakin baik hasil induksi dan filtrasinya, sebaliknya terlalu kecil ukuran butiran pasir gamping akan meningkatkan alkalinitas air hasil filter sehingga bisa keluar dari persyaratan maksimum alkalinitas [17] dari Permenkes. Dalam percobaan ini serbuk magnet dibuat dengan menghancurkan magnet keramik bekas hingga lolos saringan 100 mesh. [18] Sebaliknya butiran batu gamping/kalsit diperoleh dengan menghancurkannya (dengan mortar) hingga tertahan dari saringan 100 mesh. Jadi untuk butiran batu gamping, bahan yang diambil adalah bahan yang tidak lolos dalam saringan.

##### - Wadah dan Magnet Penginduksi

Proses filtrasi memerlukan wadah untuk selain menampung bahan-bahan aktif juga untuk tempat perakitan magnet permanen penginduksi bahan aktif. Magnet bekas permanen yang digunakan disarankan berbentuk silindris, memiliki lebar dan tebal yang cukup. Atau setidaknya lebarnya lebih dari 20 mm dan tebalnya sekurang-kurangnya 20 mm. Hal ini ditujukan untuk penyesuaian bentuk pipa air yang umumnya silindris dan ketebalan lapisan bahan aktif yang akan diinduksi.



Gbr 3. Disain peralatan filter magnetik

Sesuai dengan gambar 3 diatas, wadah bahan aktif dimasukkan ke dalam lubang dalam magnet permanen. Dalam percobaan ini sampah magnet yang diambil memiliki lebar 25 mm dan ketebalan 20 mm. Sedangkan wadah serbuk batu gamping dan serbuk magnet masing-masing memiliki ketebalan 5 mm dan 40 mm, secara urut. Mereka dibatasi oleh sekat kain diantaranya. Setelah wadah dimasukkan kedalam magnet silindris, kemudian disusul dengan pengisian serbuk magnet, penambahan sekat, dan pengisian serbuk batu gamping. Ketebalan serbuk gamping dibuat lebih tipis dari serbuk magnet karena ketika air tanah melewati serbuk gamping, konsentrasi serbuk gamping terhadap konsentrasi air menjadi sangat tinggi sehingga cukup untuk mereduksi jumlah coliform. Serbuk gamping yang terlalu tebal juga bisa meningkatkan alkalinitas air yang bisa menghambat jalur pemipaan.

Sedangkan serbuk magnet dibuat jauh lebih tebal untuk menangkap partikulat besi dalam air yang lebih banyak.

### Karakterisasi Air Bersih (Hasil Filter)

Peryaratan Permenkes untuk air bersih sebenarnya sangat banyak sekali, namun dalam percobaan ini dipilih beberapa yang sangat penting dan banyak menimbulkan masalah konsumsi air tanah pada umumnya di Indonesia seperti kadar besi, jumlah *coliform* dan jumlah bakteri E. Coli dalam 100 ml air. Pengujian kadar besi dalam air dilaksanakan di UPT Balai Laboratorium Kesehatan – Dinas Kesehatan Pemerintah Provinsi Jawa Barat, sedangkan untuk pengujian jumlah *coliform* dan jumlah bakteri E. Coli dilaksanakan di Laboratorium Pengendalian Kualitas Lingkungan – PDAM Tirtawening Kota Bandung.

Pengujian kadar besi ini mengikuti standar SNI. No. 06-6989.4.2009, dimana kadar besi ditentukan dengan bantuan alat ukur Spektroskopi Serapan Atom. Prinsip dasar kerja peralatannya adalah sebagai berikut, analit logam besi dalam nyala udara asetilen diubah menjadi bentuk atomnya, menyerap energi radiasi elektromagnetik yang berasal dari lampu katoda dan besarnya serapan berbanding lurus dengan kadar analit.

Untuk pengujian jumlah total *coliform* dan E. Coli digunakan metoda *Multi-Tubes Fermentation* (MTF) Laktosa [19][3], dimana keberadaan gas-gas yang terbentuk selama fermentasi diamati dalam tube-tube sedemikian. Sehingga menggunakan standar/formula tertentu diperoleh kesetaraannya dalam estimasi kerapatan bakteri (jumlah total *coliform* / E.

*Coli* dalam 100 ml air yang diujikan). Selain untuk menguji jumlah bakteri dalam air tanah, metode ini juga bisa digunakan untuk menguji jumlah *coliform* yang terkandung dalam limbah-limbah air di industri.

#### **Pengamatan Visual, Bau dan Rasa Air**

Sebelum dikarakterisasi uji lab., sampel air hasil filter magnetik di amati secara fisik melalui pengamatan visual dan bau.[20][21] Hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa sampel air hasil filtrasi tidak keruh, tidak berwarna dan bening. Selain itu sampel juga tidak berbau dan berasa yang keseluruhannya mengindikasikan keadaan yang bersih dari suspensi partikel, bahan kimia dan dari dekomposisi bahan-bahan organik dari mikroorganisme.



**Gbr 4.** Pengukuran pH air filtrasi magnetik menggunakan kertas lakmus standar

Perlu juga dicatat bahwa dalam hal ini juga menguji *pH* dari filtrat (ditunjukkan dalam gambar 4) yang menunjukkan bahwa nilainya masih sesuai dengan syarat air baku yang berlaku yakni di sekitar 6,5.[22] Harga ini masih lebih baik (mendekati *pH* 7) dari air mineral komersial

umumnya yang memiliki *pH* sedikit dibawahnya. Beberapa standar yang ketat bahkan memberikan batas *pH* 6,5-8 untuk air minum.[23][24]

#### **Karakteristik Kadar Besi**

Pemeriksaan kualitas air tanah secara kimia sebelum dilakukan filtrasi magnetik dan sesudah dilakukan filtrasi magnetik dibandingkan kadar besinya menggunakan spektroskopi serapan atom atau biasa dikenal dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*).

Tabel 1. Hasil Uji Kadar Besi

Kimia Anorganik	Sebelum Filtrasi	Setelah Filtrasi
Parameter	Besi* (total)	Besi* (total)
Metode	SNI No. 06-6989.4.2009	SNI No. 06-6989.4.2009
Satuan	mg/l	mg/l
Hasil Pemeriksaan	0,37	0,13
Batas Maks. (sesuai syarat)	0,3	0,3
Justifikasi	Tidak memenuhi syarat	Memenuhi syarat

\* Parameter terakreditasi KAN – ISO/IEC 17025 : 2008

Karakteristik kadar besi total dalam air setelah difilter magnetik menjadi 0,13 mg/l yang mana menunjukkan bahwa filter yang dirancang mampu menurunkan kadar besi sekitar 0,35 kali dari kadar besi air tanah yang tidak difilter. Kadar besi dari proses filtrasi ini menunjukkan bahwa keluarannya masih memenuhi persyaratan Permenkes No. 492/Men.Kes/ Per./IV/2010, dimana batas maksimum kadar besi total yang diijinkan adalah 0,3 mg/l.

**Karakteristik Coliform dan E. Coli**

Pemeriksaan kualitas air tanah secara mikrobiologi sebelum dilakukan filtrasi magnetik dan sesudah dilakukan filtrasi magnetik dibandingkan jumlah total coliform dan jumlah bakteri E. Coli-nya menggunakan metoda MTF.



Gbr. 5 Peralatan water bath untuk pemeriksaan coliform.

Metoda ini memerlukan peralatan water bath yang memberikan suhu tetap sekitar 44,5°C -45,5°C untuk analisa konfirmasi E. Coli dan Coliform seperti nampak pada gambar 5.

Tabel 2. Jumlah coliform total dalam air

Mikrobiologi	Sebelum Filtrasi	Setelah Filtrasi
Parameter	Coliform	Coliform
Metode	SM 9221 B	SM 9221 B
Satuan	Jml/100 ml	Jml/100 ml
Pemeriksaan Coliform	36	6
Maks. Coliform	50	50
Justifikasi	Memenuhi syarat	Memenuhi syarat

Dari pemeriksaan jumlah coliform seperti tercantum dalam tabel 2, nampak sampel air tanah yang diambil kebetulan memiliki jumlah coliform total yang lebih sedikit dari batas standar coliform yang disyaratkan Permenkes No. 416/Men.Kes/Per.IX/1990, namun demikian masih bisa mengevaluasi unjuk kerja filter magnetik yang didisain dengan menurunnya jumlah coliform total setelah difilter sekitar 0,17 kali dari sebelum treatment. Dengan kata lain (secara kasar) bisa disimpulkan jika sampel air tanah memiliki jumlah coliform kurang dari 294 per 100 ml, alat ini masih mampu menurunkannya untuk memenuhi persyaratan Permenkes yakni maksimum 50 coliform per 100 ml. Metode acuan pemeriksaan ini adalah SM 9221 B tahun 2012.

Tabel 3. Jumlah bakteri E. Coli dalam air

Mikrobiologi	Sebelum Filtrasi	Setelah Filtrasi
Parameter	E. Coli	E. Coli
Metode	SM 9221 F	SM 9221 F
Satuan	Jml/100 ml	Jml/100 ml
Pemeriksaan E. Coli	11	0
Maks. E. Coli	-	-
Justifikasi	Tidak memenuhi syarat	Memenuhi syarat

Berdasarkan pemeriksaan jumlah E. Coli dalam air tanah sebelum difiltrasi magnetik, mutu air tersebut belum layak sebagai air baku (bersih) dengan kandungan E. Coli berjumlah 11 per 100 ml air seperti didaftar dalam tabel 3. Setelah

difiltrasi, sampel air tanah hampir terbebas sempurna dari keberadaan *E. Coli*. Pemeriksaan ini dilaksanakan berdasarkan metoda acuan SM 9221 F edisi ke 22 tahun 2012, dimana hasil pemeriksaannya mengindikasikan kinerja filtrasi magnetik yang hampir sempurna menghilangkan bakteri *E Coli* dalam air tanah asalnya.

### III. PENUTUP

Kajian awal ini bersifat *preliminary research* sehingga optimasi untuk disain peralatan filter magnetik lebih lanjut masih diperlukan terutama untuk meningkatkan debit air keluarannya. Namun demikian dari hasil kajian ini bisa disimpulkan beberapa hal yang menarik diantaranya:

- Magnet bekas permanen keramik dan batu gamping bisa dimanfaatkan sebagai bahan aktif untuk filter air baku;
- Induksi magnet (magnetisasi) pada lapisan serbuk batu gamping dan serbuk magnet bisa menurunkan kadar besi dan jumlah *coliform* (termasuk bakteri *E. Coli*) secara signifikan pada air tanah yang dilewatkan pada kedua bahan yang terinduksi;
- Karakteristik visual, pengukuran pH, uji kimia kadar besi dan uji mikrobiologi keberadaan *coliform* (termasuk *E. Coli*) menunjukkan bahwa peralatan filtrasi magnetik yang didisain dari magnet bekas dan batu gamping yang sederhana mampu/bisa memberikan keluaran air baku (bersih) yang memenuhi beberapa kriteria penting dari persyaratan Permenkes No. 416/Men.Kes/Per./IX/ 1990.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Mukiyem selaku Staf Manajer Teknik Laboratorium Kimia Kesehatan Lingkungan di Balai Laboratorium Kesehatan Bandung yang mana memberikan waktu luangnya untuk diskusi pengujian kualitas air bersih secara kimia selama Oktober 2015 hingga Januari 2016.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. C. Crittenden, *Water treatment principles and design*, no. 3. (2012).
- [2] "PERATURAN MENTERI KESEHATAN Nomor: 416 / MEN . KES / PER / IX / 1990 Tentang Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air," no. 416, pp. 1–10, 1990.
- [3] APHA/AWWA/WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 2012.
- [4] S. Herat and P. Agamuthu, "E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries," *Waste Manag. Res.*, vol. 30 [11] 1113–1129 (2012).
- [5] J. M. D. Coey, "Permanent magnet applications," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 248 [3] 441–456 (2002).
- [6] M. Kutz, *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*. 2007.
- [7] S. R. Janasi, M. Emura, F. J. G. Landgraf, and D. Rodrigues, "The effects of synthesis variables on the magnetic properties of coprecipitated barium ferrite powders," *J. Magn.*



- Magn. Mater.*, vol. 238 [2–3] 168–172 (2002).
- [8] C. C. Dorea, B. a. Clarke, C. J. Jones, J. L. Crompton, S. Bertrand, and H. L. Evans, "Multi-stage filtration for developing world surface water treatment," *Proc. ICE - Water Manag.*, 157 [3] 143–149 (2004).
- [9] O. Nkwonta and G. Ochieng, "Roughing filter for water pre-treatment technology in developing countries: A review," *Int. J. Phys.* 4 [9] 455–463 (2009).
- [10] D. Ityel, "Ground water: Dealing with iron contamination," *Filtr. Sep.* 48 [1] 26–28 (2011).
- [11] A. Baysal, N. Ozbek, and S. Akman, "Determination of Trace Metals in Waste Water and Their Removal Processes," *Waste Water - Treat. Technol. Recent Anal. Dev.*, pp. 145–171, 2013.
- [12] N. Saksono, "Magnetisasi Air Sadah Untuk Pencegahan Pembentukan Kerak," *Teknologi*, no. 4, pp. 292–302, 2006.
- [13] M. B. Farhangi, a. a. Safari Sinemani, M. R. Mosaddeghi, a. Unc, and G. Khodakaramian, "Impact of calcium carbonate and temperature on survival of *Escherichia coli* in soil," *J. Environ. Manage.* 119 [February] 13–19 (2013).
- [14] N. P. D. W. Regulations, "Analytical Methods Approved for Drinking Water Compliance Monitoring under the Total Coliform Rule," *Environ. Prof. Agency*, [December] 1–18 (2009).
- [15] S. Journal, W. Pollution, C. Federation, and N. Apr, "Total coliform: fecal coliform ratio for evaluation of raw water bacterial quality.," *J. Water Pollut. Control Fed.* 43 [4] 630–40 (1971).
- [16] F. L. Becker, D. Rodríguez, and M. Schwab, "Magnetic Removal of Cobalt from Waste Water by Ferrite Co-precipitation," *Procedia Mater. Sci.* 1 644–650 (2012).
- [17] J. C. Lou, W. L. Lee, and J. Y. Han, "Influence of alkalinity, hardness and dissolved solids on drinking water taste: A case study of consumer satisfaction," *J. Environ. Manage.* 82 [1] 1–12 (2007).
- [18] R. A. Nash, "A relationship between screen opening and mesh size for standard sieves," *Pharm. Dev. Tech.* 2 [2] 185 (1997).
- [19] S. C. Edberg, M. J. Allen, D. B. Smith, and N. J. Kriz, "Enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* from source water by the defined substrate technology," *Appl. Environ. Microbiol.* 56 [2] 366–369 (1990).
- [20] H. G. Gorchev and G. Ozolins, "WHO guidelines for drinking-water quality.," *WHO Chron.* 38 [3] 104–108 (2011).
- [21] J. Bartram and S. Cairncross, "Hygiene, sanitation, and water: Forgotten foundations of health," *PLoS Med.* 7 [11] (2010).
- [22] F. Edition, "Guidelines for Drinking-water Quality," *World Health* 1 [3] 104–8 (2011).
- [23] R. Endang, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang Persyaratan Kualitas Air Minum." pp. 1–12, 2010.
- [24] E. J. Kim, J. E. Herrera, D. Huggins, J. Braam, and S. Koshowski, "Effect of pH on the concentrations of lead and trace contaminants in drinking water: A combined batch, pipe loop and sentinel home study," *Water Res.* 45 [9] 2763–2774 (2011).
- [25] a F. Starace, "Atomic spectroscopy.," *Science* 216 [4542] 169–170 (1982).