

Keramik Berpori dari Clay dan Poly(ethylene-glycol) yang Dilapis Fotokatalis Titania untuk Aplikasi Filter Air

Masturi, Silvia, M.P. Aji, H. Aliah, O. Arutanti, E. Sustini,
Khairurrijal, dan M. Abdullah*

*Physics Department of Mathematics and Natural Sciences Faculty of Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganeca 10 Bandung 40132 Indonesia
* Email: din@fi.itb.ac.id*

Abstrak. Sebuah filter air dibuat dari keramik berpori dengan clay sebagai bahan mentah, polyethylene glycol sebagai perbuat pori dan titania sebagai fotokatalisnya. Polutan uji yang dipakai adalah methylene blue sebagai salah satu polutan utama dalam industri tekstil. Sintesis filter ini dilakukan dengan tiga tahapan. Pertama, clay dan PEG dicampur dengan metode pencampuran basah (sol gel). Kedua, hot-pressing campuran clay dan PEG dengan titania yang dilapiskan pada bagian luarnya pada suhu 50°C dan tekanan 36 MPa selama 20 menit, dan langkah ketiga adalah pembakaran keramik secara bertingkat selama 12 jam dengan suhu maksimum 900°C. Dari uji sampel yang telah dibuat didapatkan permeabilitas filter antara $1,49 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ sampai $3,50 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ untuk beberapa komposisi PEG dan clay dengan jumlah titania tetap. Untuk kekuatan tekannya, filter ini memiliki kekuatan antara 0,28 MPa sampai 1,79 MPa. Sedangkan performa penyaringan filter terhadap polutan uji antara 97,98% sampai 98,89% untuk beda tekanan antara dua permukaan filter sebesar 4 kPa.

Kata kunci: filter air, clay, poly(ethylene glycol), titania.

PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih merupakan masalah yang sangat vital bagi kehidupan, apalagi dengan tingginya polusi sungai yang sangat masif di beberapa kota, di sisi yang lain permintaan akan air bersih yang terus meningkat menuntut perhatian khusus pemecahannya. Salah satu solusi yang memungkinkan untuk dilakukan adalah dengan melakukan penyaringan air kotor menjadi air bersih.

Beberapa usaha telah dilakukan untuk menjernihkan kembali air limbah tersebut, antara lain dengan metode penyaringan, pengendapan ataupun pemecahan kontaminan air dan kemudian dilakukan penyerapan. Khusus untuk metode penyaringan, kebanyakan filter yang selama ini dipakai adalah filter-filter dari bahan organik seperti dari polimer. Karena dari bahan organik, filter tersebut memiliki beberapa kelemahan, antara lain rentan terhadap bahan kimia, rentan terhadap temperatur yang agak tinggi, dan tidak reusable sehingga dalam jangka waktu tertentu, filter ini justru bisa bersifat racun (*toxic*) karena polutan air yang tertinggal pada filter [1]. Beberapa cara telah dilakukan untuk menangani ini, antara lain dengan melakukan tekanan balik (*reverse osmosis*) untuk mengeluarkan polutan tersebut, akan tetapi untuk senyawa yang tidak dapat terdegradasi secara biologi (*non-biodegradable*) memerlukan reaksi kimia untuk menangani ini. Di sinilah urgensi sebuah filter yang

memiliki kemampuan untuk memecah senyawa non-biodegradable ini untuk dikembangkan. Salah satu material yang memungkinkan untuk hal di atas adalah bahan anorganik.

Beberapa filter anorganik ini sebenarnya sudah mulai dikembangkan, seperti filter zirconia yang dilapis (*coating*) dengan titania dengan metode sol gel menggunakan polimer polyethylene glycol (PEG) [2], filter dari alumina yang dilapis dengan titania yang didoping dengan zirconia [3] dan membran komposit sepiolite-silica-titania [4]. Dari semua yang dilakukan orang, hampir semua melibatkan titania (titanium dioksida). Penggunaan titania memiliki tujuan agar filter tidak hanya melakukan penyaringan secara fisik saja, akan tetapi mampu memecah kontaminan-kontaminan air dengan memanfaatkan sifat fotokatalisis titania tersebut dengan bantuan sinar UV. Bahkan, untuk titania yang didadah dengan unsur tertentu, seperti Zn, Cu dan C akan memperlebar cakupan pita energi titania sehingga juga mampu mengabsorpsi spektrum cahaya tampak [5]. Selain itu, dipilihnya titania sebagai material fotokatalisator karena daya oksidasinya yang sangat kuat, relatif inert secara kimia, murah dan memiliki stabilitas yang sangat panjang terhadap korosi kimia dan cahaya [6].

Akan tetapi, menjadikan titania secara sendiri (*stand-alone*) sebagai bahan filter terbukti sangat sulit. Beberapa kelemahan yang muncul adalah kepekaan terhadap tekanan sehingga filter yang dihasilkan akan sangat rapuh [1]. Filter air semacam ini pernah dibuat

oleh Priatama *et al* [7], di mana filter yang dihasilkan memiliki kekuatan mekanik yang masih rapuh dan rentan pecah.

Pada penelitian ini dibuat filter dari bahan anorganik lain, yaitu clay dengan tujuan agar filter yang dihasilkan memiliki ketahanan terhadap temperatur (stabilitas termal), *inert* secara kimia, memiliki kekuatan mekanik yang sangat baik, dapat dipakai kembali (*reusable*) dan tahan lama.

EKSPERIMEN

Clay Plered, Polyethylene glycol (PEG)-500000, titania (titanium dioxide) dengan ukuran partikel rata-rata 200 nm dan methylene blue dari Bratachem, Indonesia.

Serbuk clay yang telah kering dan PEG-500000 dicampur dengan metode sol gel selama 10 menit dengan mesin mixer sehingga terbentuk komposit clay-PEG. Selanjutnya komposit ini dihancurkan dengan blender, disaring dan bersama dengan titania yang dilapiskan di bagian luarnya di *hot-press* pada tekanan dan temperatur masing-masing 36 MPa dan 50°C selama 20 menit dengan melapiskan langsung titania pada bagian luarnya sehingga terbentuk keramik mentah. Kemudian keramik mentah ini dibakar dengan menggunakan furnace selama 11 jam pada suhu maksimum 900°C. Sampel kemudian diuji alir dengan menggunakan air yang dikotori dengan methylene blue dengan konsentrasi 32.7 mikromolar. Uji alir ini dilakukan dengan menggunakan hubungan hukum Darcy [8] didapatkan

$$k = \frac{Q\mu\Delta L}{A\rho g\Delta h} \quad (1)$$

di mana k adalah permeabilitas filter, Q debit air yang mengalir melalui filter, μ viskositas fluida (air), A luas permukaan filter, ρ massa jenis air, Δh ketinggian air pada kolom filter dan g percepatan gravitasi bumi.

Uji kekuatan filter dilakukan dengan uji tekan yang dihubungkan oleh [9]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

di mana σ kekuatan tekan filter, F gaya maksimum yang mampu ditahan filter dan A luas permukaan filter. Sedangkan uji performa penyaringan filter dilakukan dengan menguji penurunan konsentrasi *methylene blue* (MB) setelah proses penyaringan. Uji konsentrasi ini dilakukan dengan pengukuran UV-vis dan hukum Lambert-Beer [10]

$$c = KA \quad (3)$$

di mana $K = \frac{1}{\epsilon d}$, dengan c , A dan d masing-masing adalah konsentrasi larutan, absorbansi larutan pada UV-vis dan ketebalan sampel. Sedangkan ϵ adalah

koefisien *extinct*. Dengan ϵ dan d konstan, maka absorbansi hanya bergantung pada konsentrasi larutan.

Filter yang dibuat adalah berbentuk lingkaran dengan diameter 4 mm dengan tebal 3,8 sampai 4,3 mm sesuai komposisi PEG pada waktu pembuatan.

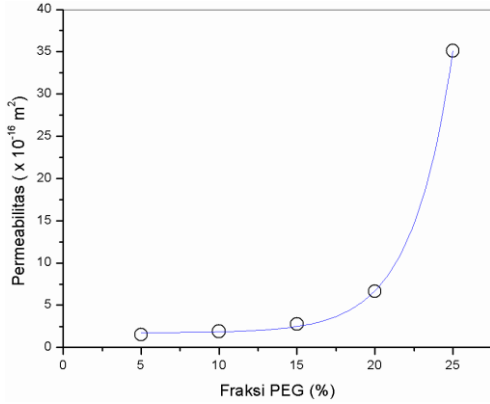


GAMBAR 1. Contoh filter setelah dilapis dengan titania.

HASIL DAN PEMBAHASAN

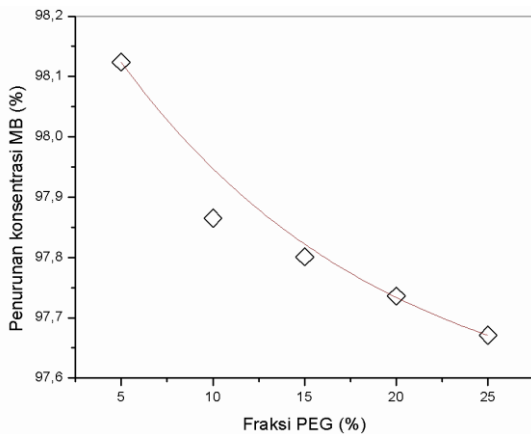
Clay merupakan material yang sangat kecil sekali permeabilitasnya [11], akan tetapi dengan memperbesar pori-porinya melalui penambahan PEG sebagai pembentuk pori akan memperbesar permeabilitasnya. Hal ini tampak dari Gambar 2, di mana penambahan fraksi PEG akan meningkatkan permeabilitas filter. Bahkan pada fraksi tertentu penambahan fraksi ini akan meningkatkan secara signifikan permeabilitas tersebut. Diduga pada fraksi-fraksi awal, yaitu pada fraksi 5%, 10% dan 15% keberadaan PEG memang menambah jumlah pori dan juga menambah penyambungan (*interconnection*) antarpori. Akan tetapi, jumlah pori itu masih lebih sedikit dibandingkan fraksi padatnya sehingga masih kurang mampu mengalirkan air. Selain itu, beberapa pori yang terbentuk juga belum terkoneksi satu dengan yang lain. Ketika fraksi PEG dinaikkan lagi, jumlah pori meningkat dan memungkinkan tersambungannya lebih banyak pori. Akibatnya, ketika air dilewatkan melalui filter, maka air akan mampu melewati pori-pori kecil tersebut. Bahkan kemampuan filter untuk dilewati air (baca: permeabilitas filter) meningkat sangat tajam. Hal ini adalah salah satu fenomena perkolasi yang juga sering muncul pada konduktivitas polimer elektrolit [12].

Nilai permeabilitas filter ini komparabel dengan beberapa filter yang sudah dibuat, seperti filter dari alumina [13] dan filter clay Tunisia [14].



GAMBAR 2. Permeabilitas filter sebagai fungsi fraksi PEG. Pada fraksi tertentu, kenaikan permeabilitas akibat kenaikan fraksi PEG sangat tajam.

Sedangkan polutan *methylene blue* yang tersaring setelah melewati penyaringan filter mencapai 98% (Gambar 3). Penyaringan ini dilakukan dengan beda tekanan antara kedua permukaan sekitar 4 kPa (setara dengan ketinggian air 40 cm). Dari grafik tersebut tampak bahwa ketika fraksi PEG semakin besar, maka semakin kecil fraksi MB yang disaring. Hal ini karena dengan peningkatan fraksi PEG, fraksi pori juga meningkat sehingga polutan lebih mudah untuk lewat. Tersaringnya material polutan ini karena pada dasarnya medium berpori dapat diibaratkan sebagai sebuah konduktor dengan hambatan yang cukup besar sehingga material-material padat yang tercampur dalam air, termasuk MB akan terhambat ketika melewati filter, namun air masih tetap mampu lewat [15].



GAMBAR 3. Penurunan konsentrasi *methylene blue* ketika fraksi PEG dinaikkan.

Kemampuan filter dalam menyaring polutan juga sering disebut dengan rejeksi filter (*filter rejection*) yang dirumuskan sebagai [2]

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_i} \right) \quad (1)$$

di mana C_p dan C_i masing-masing adalah konsentrasi polutan yang terkandung pada air sebelum dan setelah disaring. Untuk filter yang juga melibatkan reaksi fotokatalis, seperti filter yang dilapis titania, maka

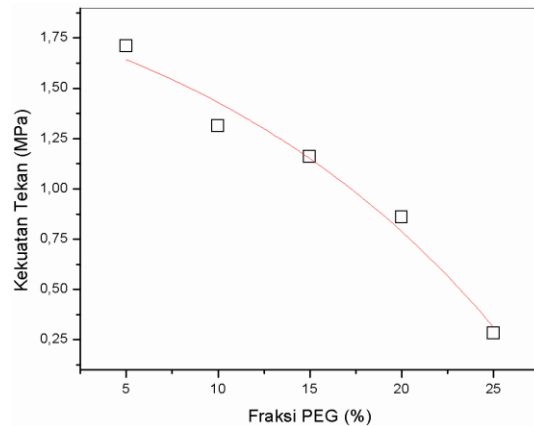
$$R = \left(1 - \frac{C_p + C_f}{C_i} \right) \quad (2)$$

dengan C_f konsentrasi polutan yang diuraikan melalui reaksi fotokatalis.

Filter clay ini juga memiliki kekuatan mekanik yang cukup memadai, yaitu antara 0,28 MPa – 1,79 MPa (Gambar 4) di mana kekuatan mekanik filter akan turun seiring naiknya fraksi PEG. Ini dikarenakan peningkatan pori akibat kenaikan fraksi PEG mengurangi jumlah interaksi antarpartikel clay. Ketika clay dibakar pada temperatur yang sangat tinggi (di atas 600°C), partikel-partikel clay akan tersinter sehingga satu sama lain saling terhubung. Hal ini berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik filter [16]. Akan tetapi, munculnya pori akibat penguapan PEG menurunkan kekuatan mekanik filter. Semakin besar fraksi PEG semakin besar fraksi pori sehingga kekuatannya semakin menurun.

Selain itu, kekuatan mekanik ini muncul karena komposisi utama clay adalah silika yang merupakan material dengan kekuatan mekanik yang baik [17].

Apabila filter ini dioperasikan hanya dengan mengandalkan tekanan hidrostatik, ketinggian air limbah yang memungkinkan untuk disaring mencapai 28 m sampai 182 m dengan asumsi massa jenis air 1 gr/cm³.



GAMBAR 4. Kekuatan mekanik filter clay sebagai fungsi fraksi PEG.

SIMPULAN

Filter dengan bahan mentah clay dan PEG sebagai pembuat porinya memiliki permeabilitas yang sangat memadai, yakni antara $1,49 \times 10^{-16} \text{ m}^2 - 3,50 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ yang sangat komparabel dengan filter-filter yang telah dibuat sebelumnya. Dari sisi kekuatan, filter ini cukup memadai dengan kekuatan dari 0,28 MPa – 1,79 MPa. Sedangkan kemampuan penyaringan filter mencapai 97,98% sampai 98,89% untuk beda tekanan antara dua permukaan filter sebesar 4 kPa. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa filter sangat memadai untuk digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan disampaikan kepada Program Riset KK dan Inovasi ITB Tahun Anggaran 2011 yang telah mendanai riset ini.

REFERENSI

1. R. Rautenbach, *Membrane Separation Processes in Water Treatment*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2007.
2. H. Zhang, H. Quan, S. Chen, H. Zhao, Y. Zhao, W. Li, *Desalination* **190**, 172 – 180 (2006).
3. C. Falamaki, J. Veysizadeh, *Mater. Sci. Forum* **553**, 239-244 (2007).
4. M.N. Suarez, G. Palmisano, M.L. Ferrer, M.C. Gutierrez, S. Yurdakal, V. Augugliaro, M. Pagliaro, F. del Monte, *J. Mater. Chem.*, 19, 2070–2075 (2009).
5. I. Nurmawati, M. Abdullah, Khairurrijal, *J. Nano Sainstek. Spec. Ed. August 2009*, 38-42 (2009).
6. J. Yu, W. Wang, B. Cheng, B. Huang, X. Zhang, *Res. Chem. Intermed.* **35**, 653-665 (2009).
7. A. Priatama, M. Abdullah, Khairurrijal, H. Mahfudz, *J. Nano Sainstek. Spec. Ed. August 2009*, 52-58 (2009).
8. M. Matyka, A. Khalili, Z. Kozal, *Phys. Rev. E* **78**, 026306-1 – 026306-8 (2008).
9. Masturi, A.P. Swardhani, E. Sustini, M. Bukit, Mora, Khairurrijal, M. Abdullah. *AIP* **1284**, 59 – 63 (2010).
10. R. B. Tagirov, L. P. Tagirov, *Russian Phys. J.* **7**, 664 – 669 (1997).
11. Silvia, Masturi, Mahardika Prasetya Aji, Khairurrijal, Mikrajuddin Abdullah, “Keramik Nanoporous Clay untuk Filter Air” edited by Kismiantini et al in *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Yogyakarta, 2011, pp. F393 – F398 (2011)
12. A. Mikrajuddin, F.G. Shi, H.K. Kim, K. Okuyama, *Mater. Sci. Semiconductor Processing* **2**, 321- 327 (1999).
13. P.M. Biesheuvel, *Porous Ceramic Membranes: Suspension Processing, Mechanical and Transport Properties, and Application in the Osmotic Tensiometer*. Netherlands: P.M. Biesheuvel, 1999.
14. N. Hamdi, E. Srasra, *Desalination* **220**, 194 – 199 (2008).
15. A. Mikrajuddin, Khairurrijal, *J. Matematika dan Sains* **1**, 15 – 19 (2009).
16. P. Putyra, P. Kurtyka, L. Jaworska, M. Podsiadlo, B. Smuk, *Archives Mater. Sci. Eng.* **2**, 97-100 (2008).
17. Masturi, Hasniah Aliah, Mahardika Prasetya Aji, Adi Ardian Sagita, Minsyahril Bukit, Euis Sustini, Khairurrijal, Mikrajudin Abdullah, *AIP* **1415**, 90 – 93 (2011).