PEMISAHAN KEKERUHAN & BAKTERI COLIFORM AIR SUNGAI MELALUI FILTER KERAMIK/ TEMBIKAR UNTUK AIR MINUM

Wahyono Hadi[1] & Talent Nia Pramestyawati[2]

wahyonohadi@gmail.com

Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1]

Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[2]

Abstrak

Penelitian dimaksudkan untuk mendapatkan bahan keramik lokal yang murah dan mudah dalam pembuatan, operasi dan pemeliharaannya. Di samping itu untuk mengetahui jenis dan komposisi bahan keramik atau tembikar dan bahan penunjang yang digunakan, seperti serbuk gergaji dan arang, serta mendapatkan bentuk filter yang sesuai. Uji yang dilakukan adalah kuat lentur, permeabilitas/ kecepatan filtrasi, dan kualitas dan kuantitas filtrat.

Bahan dasar utama yang digunakan adalah bahan keramik asli, tanah tembikar dari Sidoarjo dan Karang Pilang. Bahan penun-jang yang dipakai diantaranya pasir halus, serbuk gergaji dan arang untuk memungkinkan terjadinya pori di dinding filter keramik. Komposisi bahan keramik atau tembikar dan pasir serta bahan penunjangnya, mulai dari 10/5/0 hingga 10/5/2.5.

Uji permeabilitas keramik asli, keramik asli ditambah serbuk gergaji, dan keramik asli ditambah serbuk arang masing-masing adalah 0.08, 0.17 dan 0.20 L/hari, dengan luas efektif filter sebesar 141.5 cm2, maka kecepatan filtrasi tanpa pemberian tekanan kerja dari ketiga komposisi filternya masing-masing adalah 0.023, 0.05, dan 0.0575 cm/jam. Pemberian tekanan kerja sebesar 7 m kolom air memberikan angka antara 1.5 - 764 L/hari untuk luas

filter yang sama. Dengan demikian, kecepatan filtrasi yang dihasilkannya berkisar antara 0.42 - 225 cm/ jam.

Rasio komposisi material tembikar, pasir dan bahan penunjang (arang dan serbuk gergaji) yang semakin mengecil meningkatkan kecepatan filtrasi, namun tidak demikian untuk material keramik, kecuali untuk bahan penunjang serbuk gergaji.

Untuk efisiensi penurunan kekeruhan tertinggi, komposisi material yang sesuai adalah tembikar Sidoarjo/ pasir/ arang 10/5/0.5, tembikar Sidoarjo/ pasir/ serbuk gergaji 10/5/1.5, tembikar Karang Pilang/ pasir/ arang 10/5/2.0, dan keramik/ arang 10/ 2.0.

Efisiensi pemisahan bakteri *Coliform* tertinggi dicapai oleh komposisi material tembikar Sidoarjo/ pasir/ arang 10/5/0, tembikar Sidoarjo/ pasir/ serbuk gergaji 10/5/0, tembikar Karang Pilang/ pasir/ arang 10/5/2.0, embikar Karang Pilang/ pasir/ serbuk gergaji 10/5/1.0 dan keramik arang 10/1.5.

1. PENDAHULUAN

Di daerah permukiman yang diluar jangkauan sistem distribusi kota, mungkin tersedia air baku baik dari air tanah maupun air permukaan, tetapi kandungan parameter pencemarnya seperti kekeruhan, kesadahan, logam, anion, organik, deterjen, fenol, hingga ke bakteri *Coliform* mungkin melampaui standar, sehingga memerlukan pengolahan tertentu atau lengkap.

Dalam jaringan sistem distribusi kota yang cukup jauh, air yang terdistribusi seringkali harus direbus terlebih dahulu agar pengamanan kualitas air dari segi bakteriologis terjamin. Hal ini memerlukan tambahan dana untuk enersi listrik atau bahan bakar yang harus dikeluarkan oleh tiap rumah tangga setiap harinya. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang sangat mendesak akan air layak minum langsung, salah satu di antaranya melalui suatu metode pengolahan air berupa filtrasi melalui membran keramik atau tembikar.

Penelitian ditujukan untuk mendapatkan bahan keramik lokal yang murah dan mudah diperoleh untuk pembuatan komponen filter air tersebut. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan bahan keramik lokal yang sesuai untuk filtrasi membran air baku dengan berbagai kualitas, termasuk di dalamnya analisis terhadap komposisi bahan dasar keramik, ketebalan keramik dan bentuk filter.

Uji model filter yang sesuai dilakukan untuk berbagai tekanan kerja yang diberikan, sehingga dapat diperoleh gambaran variasi daya tahan filter (umur operasi filter), kehilangan tekanan yang terjadi akibat pengoperasian filter, dan kualitas air terolah. Pengujian variabel kendali yang lain adalah kadar pencemar ditinjau terhadap kualitas air terolah.

2. TEORI

2.1. Bahan Dasar Membran Keramik

Bahan keramik/ tembikar bersifat keras, ringan, tahan cuaca, tahan api dan tahan korosi. Kelemahan yang utama dari bahan ini adalah

getas atau mudah retak dan pecah. Bahan keramik pada umumnya merupakan campuran oksida yang bergabung menjadi satu struktur kristal tunggal, seperti silikat, baik yang hidrat maupun anhidrat seperti: aluminium silikat hidrat (Al_2O_3. 2 SiO_2. $2H_2O$) dan magnesium silikat anhidrat ($MgO.SiO_2$).

Lempung kaolinit dapat dituliskan sebagai $H_4Al_2Si_2O_9$, sebagai $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ atau sebagai Al_2O_3. $2SiO_2$. $2H_2O$. Jika keramik dipanaskan, maka molekul air yang ada akan keluar. Lempung merupakan produk pelapukan feldspar: $2(KAlSi_3O_8)$ atau $KO.Al_2O_3.6SiO_2$. Melalui proses hidrasi terjadilah lempung kaolinit: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ atau $Al_2O_3.2SiO_2.2H_20$. Ada 3 kelompok mineral lempung atau aluminium silikat anhidrat, yaitu: (1) kaolinit atau lempung untuk mempro-duksi keramik putih, (2) illit sebagai bahan dasar keramik untuk bangunan (batu bata, genteng), dan (3) mont-morilonit yang merupakan lempung dengan plastisitas tinggi.

Sifat plastisitas lempung dan air merupakan kunci metoda pembuatan keramik. Sifat plastisitas tersebut mempunyai ciri sebagai berikut: (1) mudah dibentuk tanpa patah, (2) timbul kerut pada saat pengeringan, dan (3) bertambah kuat pada saat air berkurang.

2.2. Proses Pembuatan Keramik

Keramik tradisional atau “gerabah” dibuat dari lempung sebagai bahan dasarnya. Ukuran atau diameter partikel lempung dan banyaknya bahan campuran mempengaruhi sifat akhir keramik. Komposisi mineral berukuran halus yang mendominasi lempung akan menyebabkan produk akhir keramik menjadi lebih kuat karena banyaknya ikatan antar partikel yang terjadi.

Porositas keramik dikurangi dengan mencampurkan bahan yang kasar dengan yang halus, sehingga rongga partikel kasar diisi oleh partikel yang halus dengan perbandingan komposisi kasar dan halus sebesar 70% dan 30%, sedangkan untuk mendapatkan porositas yang besar perbandingannya menjadi semakin besar untuk partikel kasarnya.

Pembuatan keramik pada umumnya diproses dengan mencampurkan material lempung dan bahan tambahan dengan air secukupnya. Banyaknya kadar air yang digunakan tergantung pada metode pencetakannya, seperti pencetakan kering dengan tekanan, pencetakan plastis, dan pencetakan tuang.

Pencetakan kering diaplikasikan untuk komponen rumit pada penggunaan rekayasa elektronik, sedangkan pencetakan plastis digunakan pada pembuatan barang-barang keramik pecah belah, patung dan barang kerajinan.

Pencetakan tuang memerlukan campuran air dan mineral lempung yang jauh lebih banyak bila dibanding-kan dengan campuran plastis. Adonan mendekati cair dimasukkan ke dalam cetakan berpori yang dapat menyerap air dengan cepat sehingga tercetak bentuk padatnya seperti yang diinginkan. Pada umumnya pencetakan dengan cara seperti ini diaplikasikan un-tuk memperoleh bentuk yang spesifik seperti peralatan sanitair atau yang memerlukan akurasi bentuk dan ukuran tertentu.

Tahapan pengeringan adonan yang telah dibentuk harus berangsur-angsur agar tidak menimbulkan retak. Air teradsorpsi secara fisis hilang dengan pemanasan 100° C, sedangkan air kisi dalam struktur kristalnya baru hilang pada suhu 600° C, sementara air yang teradsorpsi secara kimiawi bahkan baru hilang setelah pemanasan 1000° C.

Pada proses pengeringan, terjadi pengerutan dan pemampatan, sekaligus peningkatan kekuatan material. Pemanasan dengan pembakaran memampatkan bubuk keramik menjadi massa yang koheren. Permukaan mengecil, volume berkurang karena pengerutan, sedangkan material keramik menjadi bertambah kuat karena adanya kesatuan diantara partikel. Pemampatan terjadi sebagai akibat peleburan dan berkurangnya porositas.

2.3. Uji Sifat Keramik

Material keramik tahan terha-dap bahan kimia kecuali asam fluorida dan basa kuat seperti NaOH. Ketidaksempurnaan keramik disebabkan oleh beberapa hal. Ketidaksempurnaan mikrostruktur berasal dari variasi topografi dan tekstur akibat dari tatanan butiran atau aglomerat. Ketidaksempurnaan makrostruktur terjadi akibat dari ketidakseragaman pemrosesan bubuk keramik, akibat goresan, lubang, dan lain-lain.

Kekuatan keramik ditentukan oleh komposisi material, ukuran material, dan geometri keramik. Keramik berbutir halus lebih besar kekuatan tekuknya, karena besarnya luas per-mukaan dan besarnya jumlah ikatan antar butir. Namun, keramik berbutir kasar tahan terhadap beban kejut dan beban termal. Hal ini disebabkan karena tegangan yang diperlukan untuk meningkatkan retakan kritisnya juga besar.

Uji tekuk atau puntir keramik dilakukan dengan pembebanan tiga titik. Komponen keramik diuji hingga terjadi retak atau patah, sesuai dengan persamaan modulus patahnya:

Modulus patah = 1,5 (beban x panjang/ (lebar x tebal ^{2})

2.4. Teknologi Pemurnian Air dengan Filtrasi Membran

Teknologi filtrasi membran melalui proses osmosis balik merupakan teknologi pengolahan air masa depan yang dapat diandalkan di negara maju seperti Amerika, Eropa dan Jepang, maupun di negara berkembang, ditinjau dari kualitas fisis, kimiawi dan bakteriologisnya serta sederhananya operasi dan pemeliharaannya.Proses osmosis balik akan menghalangi semua pencemar dan meloloskan molekul air. Perbedaan tekanan harus sedemikian besar se-hingga dapat mengatasi hambatan os-mosis larutan garam melalui membran semi permeabel.

Osmosis balik pada umumnya dilakukan dengan pemberian tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosis larutan garam, sehingga molekul air melewati membran semipermeabel, sementara molekul pencemar yang pada umumnya lebih besar dari air akan tertahan di

permukaan mem-bran. Dengan demikian, pada dasar-nya proses yang terjadi merupakan proses fisis, yaitu proses pemisahan zat pelarut seperti elektrolit maupun bahan organik dari pelarutnya.

Menurut Kasakura (1995), osmosis balik mempunyai efisiensi pemisahan fisis kimiawi hingga 95-99%, sementara pemisahan biologis-nya (bakteri dan virus) dapat mencapai 100%. Air laut dengan kadar padatan terlarut dan bahan organik yang tinggi dapat dipisahkan melalui proses ini. Osmosis balik merupakan metode ter-murah untuk menghasilkan air dengan kualitas yang sangat baik bahkan untuk keperluan industri, kedokteran dan farmasi, disamping metode distilasi yang memerlukan perubahan fasa, yaitu fasa cair-gas-cair.

Menurut Kasakura (1995), besarnya tekanan osmosis larutan ditentukan menurut rumus:

P = 1.12 (t + 273) sigma Mi

Dimana P merupakan tekanan osmo-sis dalam psi, t merupakan suhu dalam derajat Celcius, dan sigma Mi merupakan jumlah molalitas semua kandungan ionic dan nonionik larutan. Tekanan osmosis dengan demikian sebanding dengan kadar padatan terlarut. Setiap kenaikan 1 mg/L kenaikan kadar akan meningkatkan tekanan osmosis sebesar 0,01 psi (0,07 kPa).

Suatu pilot plant sistem filter membran keramik berukuran pori 0,1 µm yang terdiri dari tangki, blower dan pompa digunakan untuk mengolah air sungai dengan kecepatan filtrasi 1 m/hari dan tekanan kerja 10 kPa. Analisis secara laboratorium terhadap amoniak-nitrogen menunjukkan adanya efisiensi pengolahan lebih dari 90%, sementara pemisahan kekeruh-an, Fe, Mn, *Coliform* dan total koloni mendekati 100% (KAWANISHI, 1995).

Studi lain pengolahan air sungai berkapasitas 1,1-1,3 m/hari dengan menggunakan membran menghasilkan efisiensi pemisahan kekeruhan mendekati 100%, amoniak-nitrogen 77,8% , mangan lebih dari 70%, dan konsumsi $KMnO_4$ 89,5% (OZAWA, 1995).

Pengoperasian filter membran diameter pori 0,2 µm untuk pengolahan air sungai Edo dengan kecepatan filtrasi 2,5 m/hari dan kapasitas 30 m^3/hari menghasilkan kualitas efluen yang kurang lebih sama dengan peneliti yang lain. Tekanan kerja yang diberikan pada saat filtrasi cukup 20 kPa dan meningkat hingga lebih dari 80 kPa pada saat operasi filter mendekati 30 hari. Rasio perolehan filtrat sebesar 92,3% dapat dilakukan dengan konsumsi enersi rata-rata sebesar 0,4 kWh/ m^3 filtrat (TSUCHIYA, 1995).

3. METODOLOGI PENELITIAN

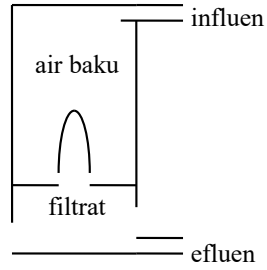
3.1. Penentuan Variabel Rancangan

Desain dan metode penelitian rekayasa dan rancang bangun filter keramik/ tembikar meliputi penentuan variabel rancangan, pembuatan sam-pel eksperimen, pengumpulan data dan analisis data. Variabel bebas dalam peneli-tian ini adalah: bahan dasar tanah tembikar/ keramik, dan komposisi bahan campuran sebagai adonan. Ketebalan filter ditekankan pada ketebalan filter yang mampu menahan tekanan kerja yang dapat mengalirkan air/ filtrat sesuai dengan kriteria perencanaan dan operasi. Variabel kendali dalam penelitian ini adalah: tekanan kerja dan kadar pencemar air baku, sedangkan variabel tergantung dalam penelitian ini adalah: kuat lentur, permeabilitas/ kecepatan filtrasi, dan kualitas flitrat.

3.2. Pembuatan Sampel Eksperimen

Banyaknya pasir ditetapkan dari uji kuat lentur, yaitu yang mengha-silkan kuat lentur terbesar. Setelah diketahui perbandingan tanah tembikar/ keramik dan pasir yang sesuai, maka dilakukan pencampurannya dengan serbuk gergaji, dan serbuk arang. Komposisi bahan keramik/ tembikar dan pasir serta bahan penunjangnya, masing-masing mulai dari 10/5/0 hing-ga 10/5/2.5. Setelah sampel eksperimen dikeringkan, maka sampel dibakar dalam furnace dengan suhu 600-1000^o C. Sampel yang telah dibakar kemudian ditest terhadap kuat lentur dan permeabilitas. Pengujian efluen secara labo-ratoris dilakukan terhadap filtrat suatu air baku yang dialirkan melalui model

filter berbentuk silinder tertutup salah satu ujungnya. Aliran air baku dari bagian luar filter menembus melalui pori sebagai filtrat, seperti terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Model Filter Keramik

4. HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

4.1. Uji Kuat Lentur

Kuat lentur dilakukan pada keramik/ tembikar sesudah pembakaran dengan suhu tertentu (900^{o} C selama 4-5 jam dan kenaikan setiap 100^{o} C dalam waktu 1 jam hingga suhu 1200^{o} C), setelah benda uji kering udara.

Untuk benda uji dengan bentuk prisma siku, kuat lenturnya dihitung menurut rumus:

$K = 1.5 \times G \times P / l \times t^2$

dimana: K = kuat lentur dalam kp/ cm^2,

G = gaya dalam kp, yang mematahkan benda uji,

l = lebar benda uji dalam cm,

t = tebal benda uji dalam cm.

Kuat lenturnya dinyatakan sebagai hasil rata-rata hitungan kuat lentur tiap benda uji.

Perbandingan tanah dan pasir 2:1 merupakan campuran bahan tembikar yang relatif lebih baik kuat lenturnya bila dibandingkan dengan perbandingan lainnya dan kondisi kuat lentur tersebut, terlihat lebih baik untuk tanah tembikar yang berasal dari Sidoarjo bila dibandingkan dengan yang berasal dari Karang Pilang. Pada umumnya kuat lentur keramik lebih baik bila dibandingkan dengan

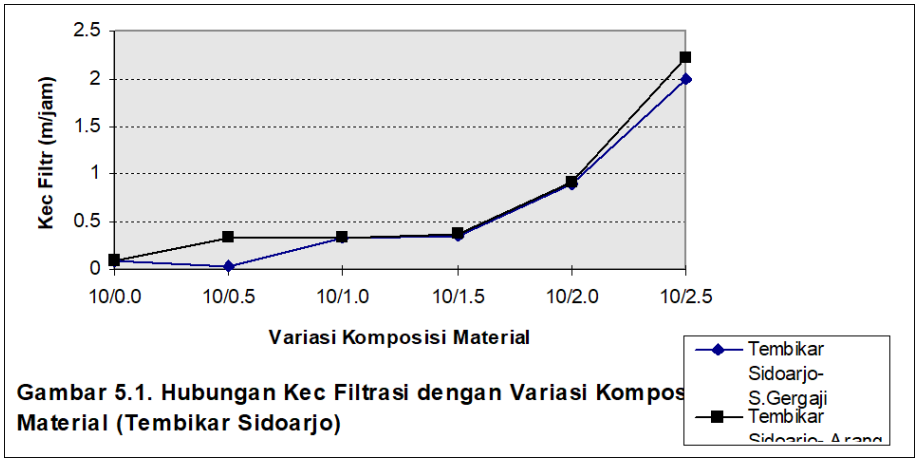
tembikar, karena struktur molekulnya yang lebih rapat dan halus bila dibandingkan dengan yang tembikar.

Terlihat makin menurunnya kuat lentur dengan makin bertambahnya material bantu seperti arang dan serbuk gergaji. Hal ini mungkin disebabkan oleh makin kasarnya struktur keramik, sehingga ikatan diantara molekul menjadi tidak terlalu kuat. Kondisi yang sebaliknya justru terjadi pada tanah tembikar dari Sidoarjo, yang justru menunjukkan adanya peningkatan dengan ditambahkannya material bantu seperti serbuk gergaji yang dapat meningkatkan kekuatan lenturnya.

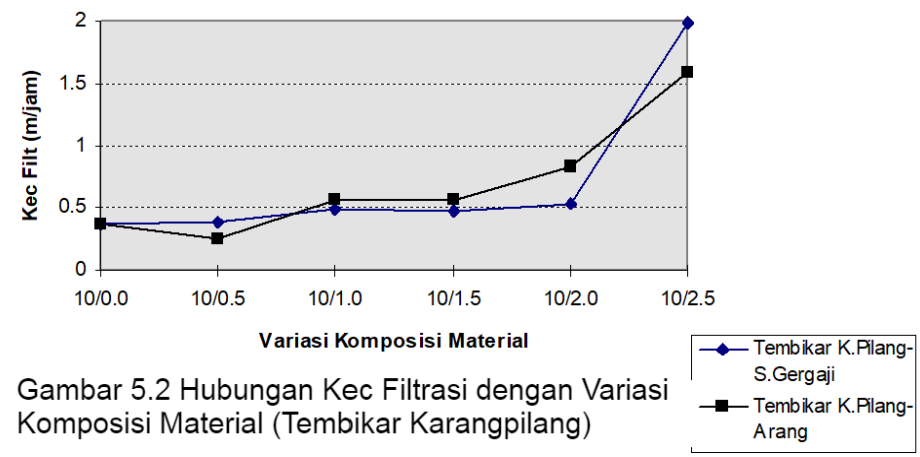
4.2. Uji Permeabilitas/ Kecepatan Filtrasi

Uji permeabilitas keramik asli, keramik dengan penambahan serbuk gergaji dan keramik dengan penam-bahan serbuk arang, masing-masing adalah 3.33, 7.22 dan 8.33 ml/ jam. Dengan luas filter keramik sebesar 141.5 cm^2 (luas bagian dalam tabung filter), maka kecepatan filtrasi secara gravitasi dari bagian dalam filter keramik asli, keramik serbuk gergaji dan keramik arang masing-masing adalah 0,023; 0,05 dan 0,0575 cm/jam.

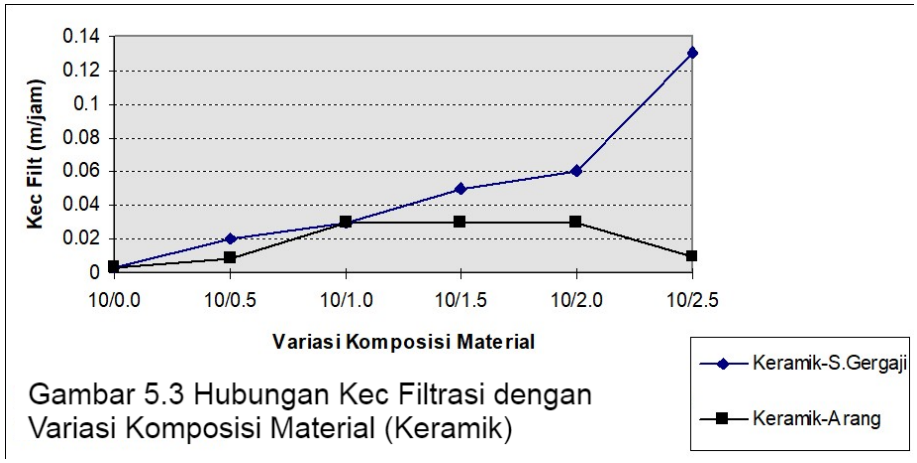
Dengan dioperasikannya model filter dengan tekanan kerja 7m kolom air, debit filtrasi yang terjadi meningkat mulai dari 0.001 liter/ menit (60 mL/jam) hingga 0.531 L/menit (31837 mL/jam). Dengan memperhitungkan luas permukaan filter yang sama yaitu sebesar 141.5 cm^2 per filter, maka kecepatan filter berkisar antara 0.42 cm/jam hingga 225 cm/jam, seperti terlihat pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4.



Gambar 5.1. Hubungan Kec Filtrasi dengan Variasi Kompos Material (Tembikar Sidoarjo)



Gambar 5.2 Hubungan Kec Filtrasi dengan Variasi Komposisi Material (Tembikar Karangpilang)



Gambar 5.3 Hubungan Kec Filtrasi dengan Variasi Komposisi Material (Keramik)

Filter dengan kecepatan filtrasi terendah (10.6 cm/jam) menyerupai kerja saringan pasir lambat, sedangkan filter dengan kecepatan filtrasi tertinggi (505.4 cm/jam) bahkan melampaui kerja saringan pasir cepat konvensional dengan 'single media' (SCHULZ,

C.R. dan OKUN, 1984)

Analisa secara Laboratoris

Analisis secara laboratoris terhadap effluent filter keramik/ tembikar dengan berbagai kadar air baku, dan berbagai variasi komposisi bahan dilakukan secara fisis (kekeruhan), dan bakteriologis (*Coliform*) seperti terlihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

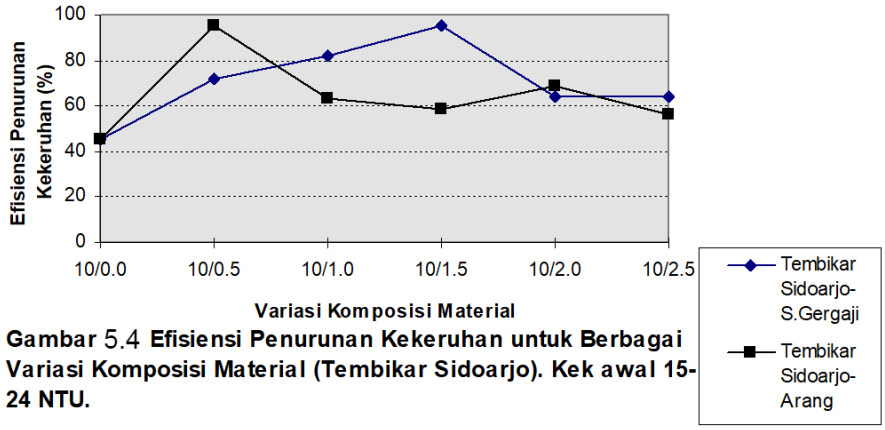
Tabel 4.1. Uji filtrasi untuk kekeruhan

Komposisi	Kekeruhan, NTU		% re-
Material	Influen	Efluen	moval
SDA/P/SG (0.5)	15.77	4.4	72.08
SDA/P/SG (1.0)	15.77	2.78	82.38
SDA/P/SG (1.5)	15.77	0.7	95.54
SDA/P/A (0.5)	15.77	0.79	94.97
KP/P/SG (0.0)	15.77	1.88	88.1
KP/P/SG (0.5)	15.77	2.96	81.24
KP/P/A (0.0)	15.77	1.88	88.1
KP/P/A (0.5)	14.87	2.78	81.31
KP/P/A (1.0)	15.77	2.96	81.24
KP/P/A (1.5)	23.89	2.42	89.88
KP/P/A (2.0)	23.89	0.79	96.68
KP/P/A (2.5)	23.89	1.79	92.61
K/SG (0.0)	17.58	2.78	84.19
K/SG (1.0)	23.89	4.4	81.57
K/SG (1.5)	17.58	3.5	80.08
K/A (0.0)	17.58	2.8	84.07
K/A (0.0)	17.58	2.96	83.16
K/A (0.0)	17.58	2.24	87.27
K/A (0.0)	17.58	1.88	89.33
K/A (0.0)	17.58	0.72	95.89
K/A (0.0)	17.58	1.34	92.40

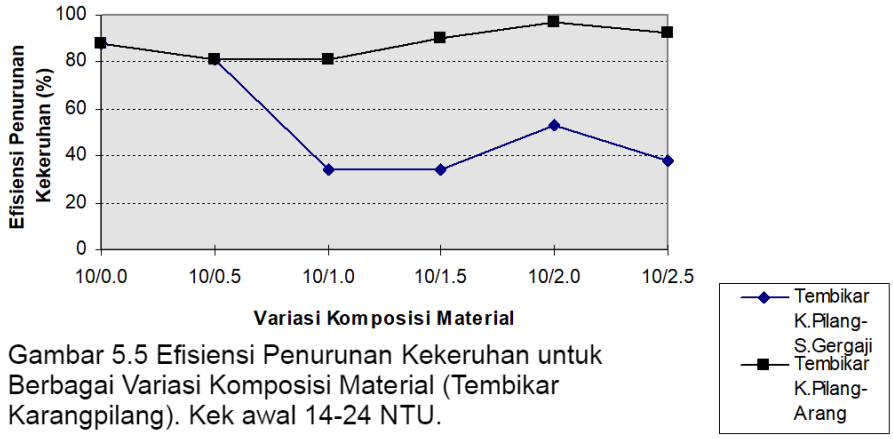
Tabel 4.2. Uji filtrasi untuk *Coliform*

Komposisi	Jml koloni/ 100 ml		% re-
Material	Influen	Efluen	moval
SDA/P/A (0.0)	102000	3500	96.57
SDA/P/A (1.0)	102000	8000	92.16
SDA/P/A (2.0)	102000	8000	92.16
SDA/P/SG (2.5)	102000	6000	94.12
KP/P/A (1.5)	102000	3305	96.76
KP/P/A (2.0)	60000	400	99.67
KP/P/SG (0.5)	102000	4600	95.49
KP/P/SG (1.0)	102000	4000	96.08
K/A (0.0)	60000	900	98.5
K/A (2.5)	60000	6000	90
K/SG (1.5)	60000	3400	94.33
K/SG (2.0)	60000	4900	91.83
K/SG (2.5)	60000	4000	93.33

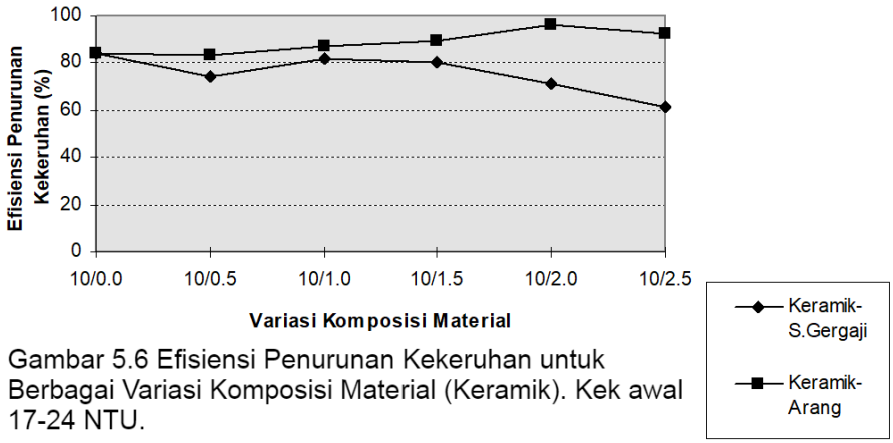
Efisiensi pemisahan kekeruhan dengan menggunakan air baku air sungai terlihat cukup tinggi, yaitu antara 34 – 96.68% pada hampir semua komposisi material, seperti terlihat pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7



Gambar 5.4 Efisiensi Penurunan Kekeruhan untuk Berbagai Variasi Komposisi Material (Tembikar Sidoarjo). Kek awal 15-24 NTU.

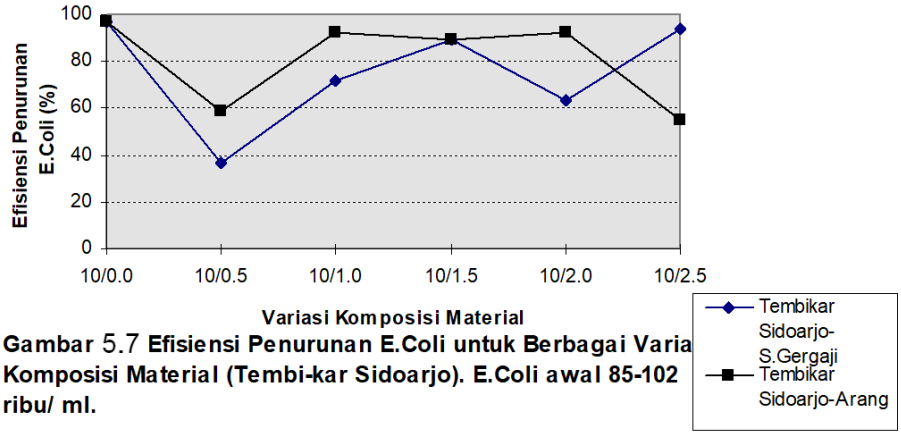


Gambar 5.5 Efisiensi Penurunan Kekeruhan untuk Berbagai Variasi Komposisi Material (Tembikar Karangpilang). Kek awal 14-24 NTU.

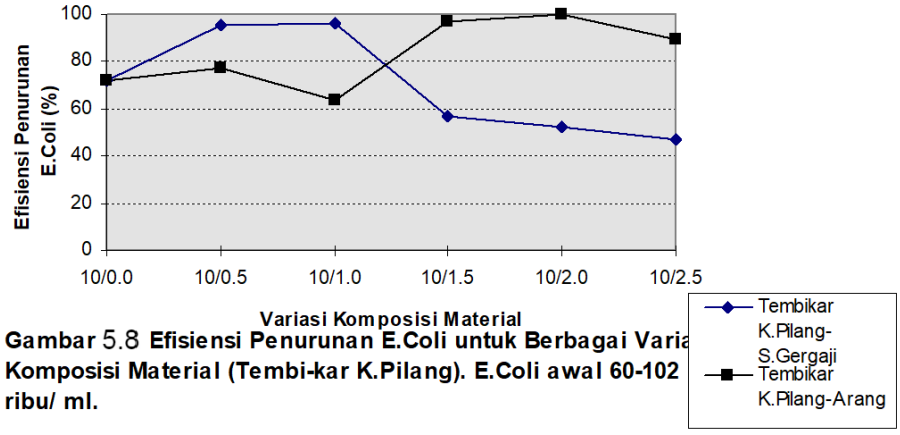


Gambar 5.6 Efisiensi Penurunan Kekeruhan untuk Berbagai Variasi Komposisi Material (Keramik). Kek awal 17-24 NTU.

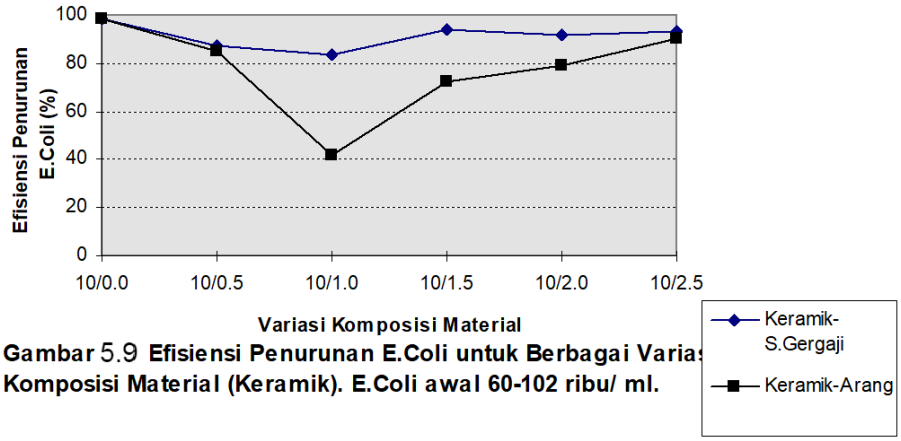
Dalam hal pemisahan bakteri *Coliform*, filter keramik memberikan efisiensi yang cukup baik yaitu antara 45.88 – 98.04 % pada hampir sebagian besar komposisi material, seperti terlihat pada gambar 4.8, 4.9 dan 4.10.



Gambar 5.7 **Efisiensi Penurunan E.Coli untuk Berbagai Varia Komposisi Material (Tembi-kar Sidoarjo). E.Coli awal 85-102 ribu/ ml.**



Gambar 5.8 **Efisiensi Penurunan E.Coli untuk Berbagai Varia Komposisi Material (Tembi-kar K.Pilang). E.Coli awal 60-102 ribu/ ml.**



Gambar 5.9 **Efisiensi Penurunan E.Coli untuk Berbagai Varias Komposisi Material (Keramik). E.Coli awal 60-102 ribu/ ml.**

5. KESIMPULAN

Potensi filter keramik sebagai unit tunggal pengolah air baku cukup tinggi, terutama ditinjau dari sifat fisis (kekeruhan) dan sifat bakteriologis (*Coliform*). Dengan memilih material pembentuk filter yang sesuai, dapat diperoleh kualitas efluen yang baik dan memenuhi syarat kesehatan untuk air minum, asalkan air baku yang digunakannya tidak terlalu tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

Goto, K and T Sawa, 'Studies on Monitoring of Membrane Breakage by Double-Membrane Filtration System', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Hartomo A.J, dan M C Widiatmoko, **' Teknologi Membran: Pemurnian Air'**, Andi Offset, Yogyakarta, 1994

Hartomo A J, **'Mengenal Keramik Modern'**, Andi Offset, Yogyakarta, 1994

Kaiya Y, et al, 'Factors Affecting Membrane Fouling in Drinking Water Treatment Process', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Kasakura T, et al, 'Waste Treatment After Backwashing of Ceramic Membrane for Water Purification', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Kasakura T, et al, 'Water Purification Treatment Using Ceramic Membrane', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Kawanishi T, et al, *'Application of Ceramic Membrane Technology for Water Purification', IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Ozawa, H dan Snemoto, 'Advanced Water Purification Treatment with Membrane', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.

Schulz, C.R, dan D.A. Okun, **'Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries', A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, 1984.**

Tambo N, et al, 'Proposal of A Simple Membrane System in Water Clarification Process', *9th IWSA-ASPAC Regional Conference and Exhibition on Perspective on Water Technology in the Next Future*, 6-10 November 1994, Manila, Phillipines.

Tsuchiya H, et al, 'A Pilot Plant Study on Membrane Filtration for Drinking Water Treatment', *IWSA Specialized Conference on Advanced Treatment and Integrated Water System Management into the 21st Century*, 15-17 May 1995, Osaka, Japan.