

Pengolahan dan Penjernihan Air dengan Memanfaatkan Media Cangkang Kerang Bulu

Water Processing and Purifying with the Use of Ark shells

Yulianto Laksono Putra^{1,*}, Abdul Aziz Abdullah¹, Wawan Hermawan²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang Surabaya 60231

²Jurusan Teknik Mesin dan Biosistem FTP Institut Pertanian Bogor
Jl. Padjadjaran No. 1 Bogor 16144

ABSTRAK

Kondisi fisik air sumur di Desa Pademonegoro, Kecamatan Sukodono, Sidoarjo pada umumnya berbau, berasa, dan berwarna kuning kecokelatan yang mengandung banyak logam mangan (Mn) dan besi (Fe) sehingga tidak layak untuk dijadikan bahan baku air minum. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah dan menjernihkan air sumur dengan memanfaatkan media cangkang kerang, yaitu cangkang kerang bulu. Cangkang kerang bulu disintesis secara kopresipitasi dengan mengalirkan karbondioksida pada tekanan 225 N/cm², 300 N/cm², dan 375 N/cm² dan waktu pengendapan selama 24 jam dan 36 jam. Sampel uji cangkang kerang bulu dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kadar CaCO₃. Cangkang kerang bulu dengan kadar CaCO₃ tinggi digunakan sebagai media pada alat penjernih air dan diuji dengan serbuk cangkang kerang bulu dengan ketebalan 1 cm, 3 cm, dan 5 cm serta ketinggian tandon air 1 m dan 2 m dari permukaan tanah. Hasil sintesis cangkang kerang bulu mengindikasikan bahwa dengan mengalir gas karbondioksida pada tekanan 375 N/cm² dan waktu pengendapan selama 36 jam mempunyai kadar CaCO₃ tinggi dan digunakan sebagai media penjernih air. Hasil pengujian air sumur setelah penjernihan menunjukkan bahwa kondisi air sumur adalah tidak berbau, tidak berasa, warna < 2 TCU, kekeruhan 0,2 NTU, TDS 200 mg/l, mengandung zat besi 0,08 mg/l, mangan 0,03 mg/l, merkuri 0,0001 mg/l, arsen < 0,005 mg/l, pH 7,3, deterjen < 0,01 mg/l, kesadahan 88,32 mg/l, dan titik jenuh media cangkang kerang bulu selama 27 minggu.

Kata kunci: pengolahan dan penjernihan air, cangkang kerang bulu

ABSTRACT

In Desa Pademonegoro, Kecamatan Sukodono, Sidoarjo the quality of water reservoir consumed by many people is found to be in a low level and contains unnecessary substances like Mn and Fe. This condition makes water not feasible to consumpt for daily use. This study aimed to manage and purify water by utilizing ark shells freely available in beaches. Ark shells were initially synthesized by coprecipitation techniques using carbon dioxide gas at a pressure of 225 N/cm², 300N/cm², or 375 N/cm² and settling time for 24 hours or 36 hours. The ark shells were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to determine its CaCO₃ content. The ark shells with a high level of CaCO₃ were used as a water purifier on the device spesificially designed on purpose and were tested with shell powder thickness with a thickness of 1 cm, 3 cm, or 5 cm and a water reservoir was placed at a position of 1 m or 2 m measured from the ground. The results indicated that the synthesis of ark shell using carbon dioxide at a pressure of 375 N/cm² and settling time for 36 hourshada high level of CaCO₃ and thus was used as a water purifier. After purifying, the quality of water is such that it

* Alamat Korespondensi:
e-mail: putra_yuliant@yahoo.co.id

is odorless and tasteless, its color < 2 TCU, turbidity of 0.2 NTU, TDS of 200 mg/l, contains Fe 0.08 mg/l, Mn 0.03 mg/l, Hg 0.0001 mg/l, As < 0.005 mg/l, pH 7.3, detergent < 0.01 mg/l, water hardness of 88.32 mg/l and saturation ark shells for 27 weeks.

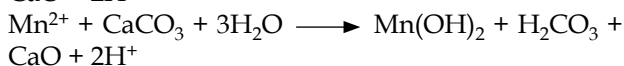
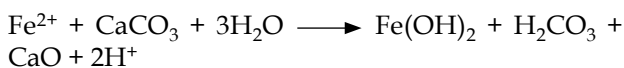
Key word: water processing and purifying, ark shells

PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil survei lokal, kondisi air sumur di Desa Pademonegoro, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Sidoarjo (belum mendapat pasokan air dari PDAM Kota Sidoarjo) saat ini memiliki sifat keruh yang cukup tinggi dengan indikator berwarna kuning kecokelatan dan berbau. Masyarakat Desa Pademonegoro tidak bisa menggunakan air sumur tersebut untuk kebutuhan sehari-hari karena apabila digunakan mencuci dapat menimbulkan warna kuning pada pakaian dan apabila dimasak airnya tetap berwarna dan berbau oleh karena itu masyarakat Desa Pademonegoro membeli air bersih untuk kebutuhan hidup sehari-hari, seperti mandi, memasak, mencuci, dan minum (Rosadi, 2008). Masyarakat setempat telah berusaha membuat alat penjernih sederhana untuk menjernihkan air sumur, namun alat penjernih air tersebut tidak memadai karena membutuhkan tempat yang permanen dan memerlukan perawatan sehingga kualitas air yang dihasilkan semakin lama semakin menurun. Dalam konteks ini, peneliti ingin menyumbangkan ide kreatif sebagai sebuah solusi alternatif alat pengolah dan penjernih air yang efektif dan praktis mengikat ion besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan menggunakan media cangkang kerang bulu. Perwujudan dari ide kreatif ini, yaitu untuk merancang alat pengolah dan penjernih air yang efektif dan praktis serta mendeskripsikan proses sintesis cangkang kerang bulu sebagai media dalam pengolahan dan penjernihan air.

Cangkang kerang bulu mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dengan kadar yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan batu gamping, cangkang telur, dan keramik (Dance, 1977) sehingga dapat digunakan sebagai pemisah antara air dengan ion logam. Selama ini di daerah Pantai Kenjeran, Surabaya cangkang kerang bulu hanya dibuang dan tidak dimanfaatkan, serta beberapa jenis kerang tertentu dibudidayakan secara komersil untuk bahan dekorasi rumah dan pakan ternak (Hidayat, 2009).

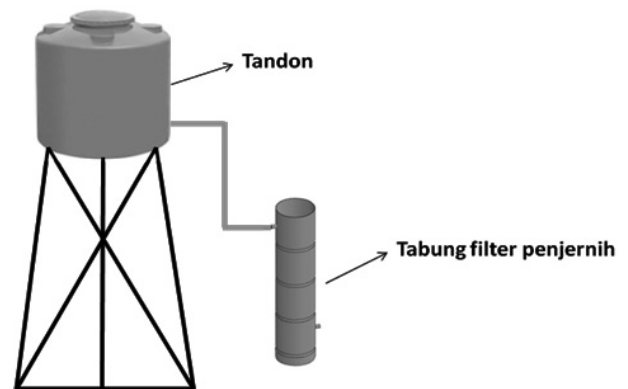
Persamaan reaksi CaCO_3 untuk menghilangkan kandungan ion besi dan mangan dalam air adalah sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi tersebut di atas, setiap 1 mg/l CaCO_3 dapat mengikat 0,558 mg/l Fe dalam air dan setiap 1 mg/l CaCO_3 dapat mengikat 0,549 mg/l Mn dalam air (Efendi, 2003).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret-Juli 2012 dengan tahap awal berupa pembuatan alat pengolah dan penjernih air yang dilakukan di Laboratorium Plambing, Jurusan Teknik Sipil Unesa dan sintesis CaCO_3 dari cangkang kerang bulu dilakukan di Laboratorium Material, Jurusan Fisika Unesa. Alat pengolah dan penjernih air terdiri atas bak penampung air dan tabung penjernih. Tempat penampung air dibuat dari tandon plastik dengan kapasitas 250 l dan diameter tandon 67 cm dengan tinggi 87 cm serta mempunyai *fitting* 1,26 cm. Tabung filter penjernih dibuat dari bahan pipa paralon. Media yang digunakan sebagai filter adalah cangkang kerang bulu.



Gambar 1. Perancangan alat pengolah dan penjernih air

Sebelum digunakan media filter, cangkang kerang bulu disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi, yaitu 10 g serbuk cangkang kerang bulu dicampur 60 ml akuades. Kemudian dilakukan proses karbonasi dengan mengaliri gas karbondioksida (CO_2) pada tekanan yang bervariasi dari 225 N/cm², 300 N/cm², dan 375 N/cm² dan diendapkan dengan waktu pengendapan 24 jam dan 36 jam. Dengan demikian, diperoleh enam sampel serbuk cangkang kerang bulu, yaitu serbuk cangkang kerang bulu 1 dengan mengaliri CO_2 sebesar 375 N/cm² dan lama waktu pengendapan 36 jam, serbuk cangkang kerang bulu 2 dengan mengaliri CO_2 sebesar 375 N/cm² dan lama waktu pengendapan 24 jam, serbuk cangkang kerang bulu 3 dengan mengaliri CO_2 sebesar 300 N/cm² dan lama waktu pengendapan 36 jam, serbuk cangkang kerang bulu 4 dengan mengaliri CO_2 sebesar 300 N/cm² dan lama waktu pengendapan 24 jam, serbuk cangkang kerang bulu 5 dengan mengaliri CO_2 sebesar 225 N/cm² dan lama waktu pengendapan 36 jam, dan serbuk cangkang kerang bulu 6 dengan mengaliri CO_2 sebesar 225 N/cm² dan lama waktu

pengendapan 24 jam. Endapan yang dihasilkan disaring lalu dikeringkan pada suhu 100 °C selama 1 jam. Sampel uji cangkang kerang bulu dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui kadar CaCO_3 .

Uji kapasitas alat pengolah dan penjernih air dilakukan dengan menghitung debit keluaran air, yaitu menghitung waktu air pada tandon setiap penurunan 3 cm. Pengujian kapasitas kerja dilakukan dengan meletakkan tandon air pada ketinggian 1 m dan 2 m dari permukaan tanah serta komposisi media kerang bulu yang dibuat dengan ketebalan 1 cm, 3 cm, dan 5 cm. Uji kebocoran dilakukan secara visual, yaitu dengan mengamati secara langsung adanya perembesan atau kebocoran pada alat pengolah dan penjernih air selama proses penjernihan berlangsung.

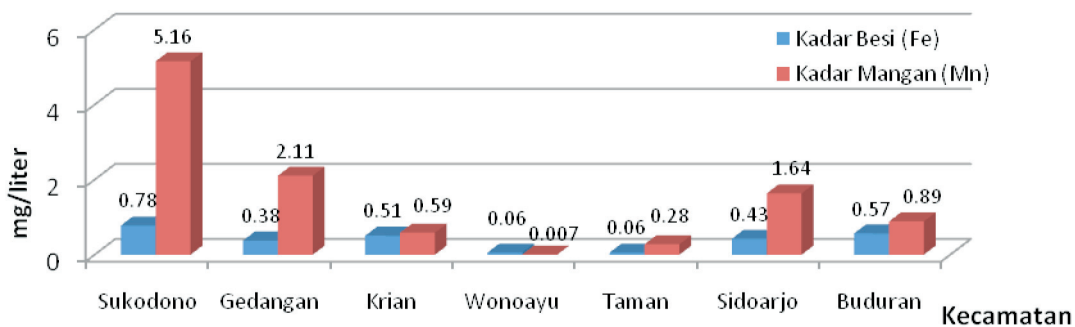
Pengujian kualitas kontrol air bertujuan untuk mengetahui kandungan dari dalam air yang tidak bisa diamati secara visual. Pengujian kualitas kontrol air

dilakukan setiap minggu selama dua bulan dengan parameter bau, rasa, warna, kekeruhan, padatan terlarut total (TDS), derajat keasaman (pH), kesadahan, deterjen, besi, mangan, arsen, dan merkuri.

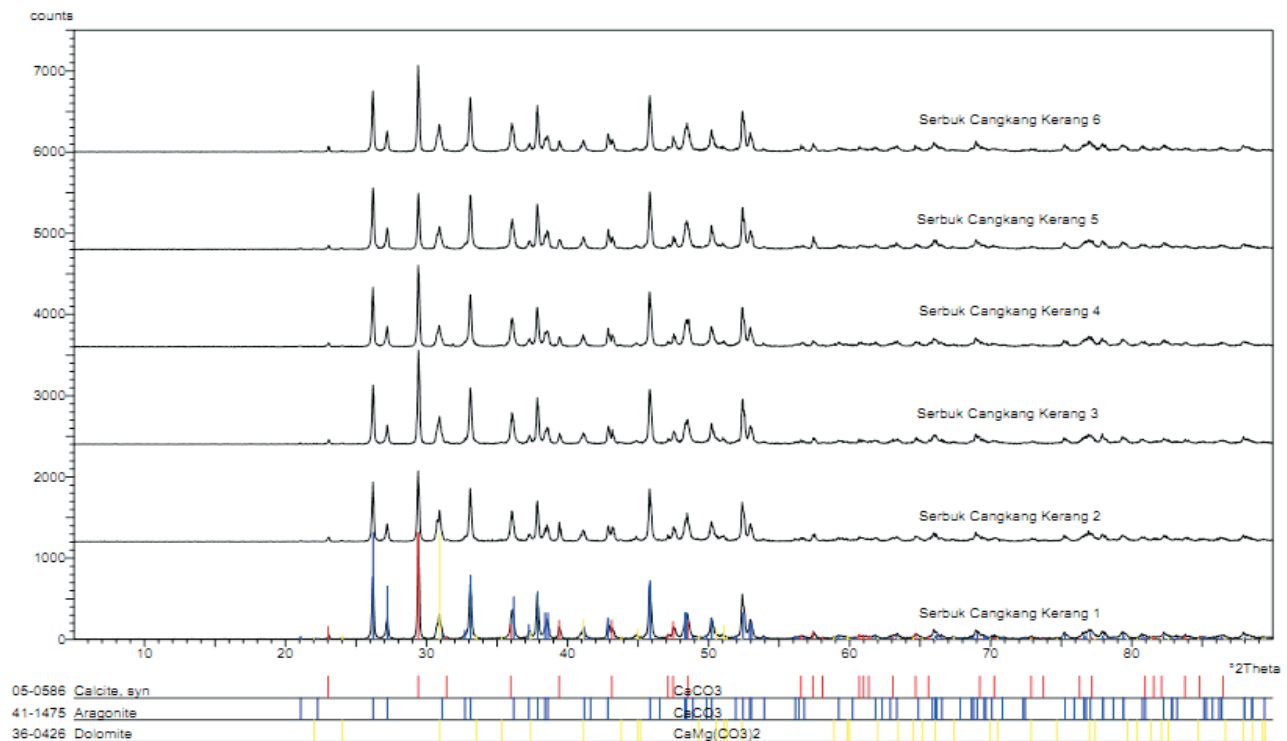
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kadar besi dan mangan air sumur dari beberapa kecamatan di Kabupaten Sidoarjo menunjukkan bahwa kandungan Mn yang tinggi terdapat di Kecamatan Sukodono sebesar 5,16 mg/l dan kandungan Fe yang paling tinggi juga terdapat pada Kecamatan Sukodono sebesar 0,78 mg/l (Gambar 2). Kandungan Fe dan Mn yang tinggi menyebabkan warna air kemerahan, rasa tidak enak pada minuman, membentuk endapan pada pipa logam dan warna kuning pada cucian.

Serbuk cangkang kerang bulu diuji *X-Ray Diffraction (XRD)* pada tekanan 225 N/cm², 300 N/cm², dan 375



Gambar 2. Analisis kadar Mn dan Fe dalam air sumur di beberapa kecamatan di Sidoarjo



Gambar 3. Analisis kualitatif serbuk cangkang kerang bulu

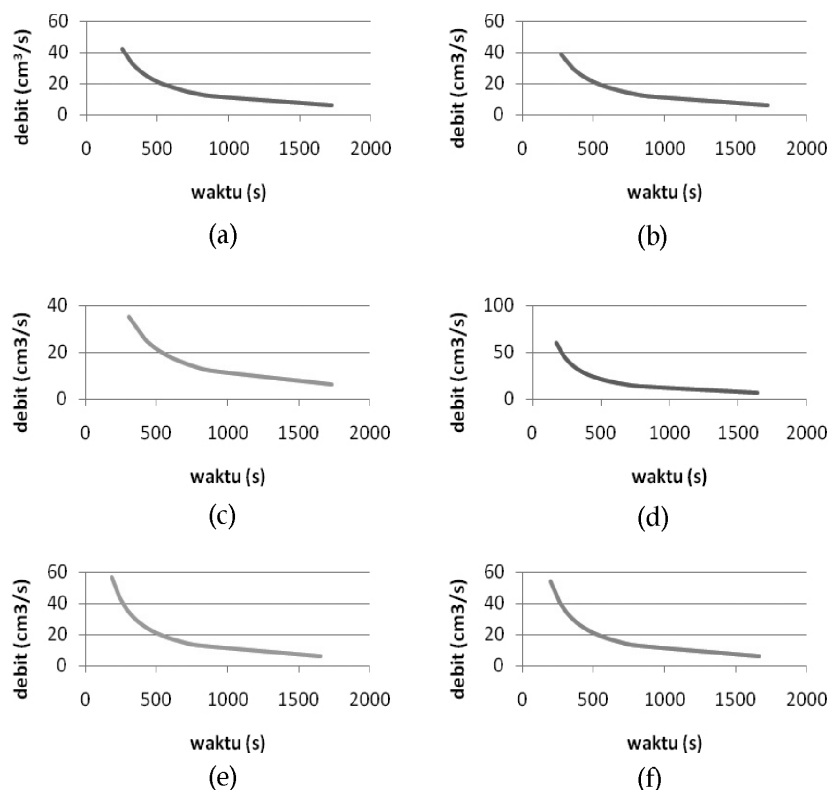
N/cm² dan diendapkan dengan waktu pengendapan 24 jam dan 36 jam. Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada serbuk cangkang kerang bulu 1 dengan mengalir CO₂ sebesar 375 N/cm² dan lama waktu pengendapan 36 jam mempunyai kadar CaCO₃ yang tinggi karena terdapat *peak* pada sudut 29,4° yang paling tinggi, yaitu 1309,56. Hal itu disebabkan karena semakin besar tekanan aliran CO₂ dan semakin lama waktu pengendapan, maka akan semakin banyak CaCO₃ yang terbentuk. Pada serbuk cangkang kerang bulu 2, 3, 4, 5, dan 6 *peak* yang dihasilkan pada sudut yang sama 29,4° berturut-turut sebesar 880,49; 1157,99; 952,25; 657,95; dan 1050,59 (Gambar 3) sehingga yang digunakan sebagai media dalam penjernihan air, yaitu pada serbuk cangkang kerang bulu 1.

Hasil pengujian kinerja alat pada uji kebocoran menunjukkan bahwa alat pengolah dan penjernih air ini tidak menunjukkan indikasi kebocoran pada alat selama proses penjernihan secara visual. Hal itu karena pada bagian luar alat, khususnya pada bagian sambungan telah dilapisi oleh *silicon seal* sehingga tidak ada kebocoran ataupun perembesan pada bagian luar alat selama proses berlangsung.

Hasil uji kapasitas kinerja, yaitu dengan mengukur laju aliran air dengan meletakkan tandon air pada ketinggian 1 m dan 2 m dari permukaan tanah serta komposisi media kerang bulu yang dibuat dengan ketebalan 1 cm, 3 cm, dan 5 cm ditunjukkan pada Gambar 4.

Hubungan debit dan waktu aliran air pada berbagai ketinggian tandon dan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu membentuk grafik yang sama, yaitu bentuk eksponensial dengan sumbu x (waktu) dan sumbu y (debit) (Gambar 4). Namun, yang membedakan dari semua grafik tersebut adalah nilai maksimum debit yang dihasilkan, pada ketinggian tandon 2 m dan ketebalan serbuk 1 cm mempunyai debit maksimum yang paling besar dengan nilai, yaitu 60,4 cm³/s. Sebaliknya, pada ketinggian tandon 1 m dan ketebalan serbuk 5 cm mempunyai debit maksimum yang paling kecil, yaitu 35,0 cm³/s. Hal tersebut disebabkan oleh ketinggian letak tandon dari permukaan tanah dan ketebalan media serbuk cangkang kerang bulu dalam tabung penjernih.

Pengujian fisika skala laboratorium bahwa pada uji dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm dari minggu pertama hingga keempat menunjukkan bahwa air yang dihasilkan tidak berbau dan tidak berasa. Selanjutnya pada parameter warna, telah diketahui bahwa sampel air (setiap minggu) dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm menunjukkan hasil uji < 15 TCU. Hasil maksimum diperoleh pada ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 5 cm menunjukkan hasil uji < 2 TCU pada setiap pengujian. Warna air dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik dan bahan anorganik, keberadaan oksida besi menyebabkan air berwarna kemerahan, sedangkan oksida mangan menyebabkan



Gambar 4. Hasil uji laju aliran air (a) ketinggian tandon 1 m dan ketebalan serbuk 1 cm; (b) ketinggian tandon 1 m dan ketebalan serbuk 3 cm; (c) ketinggian tandon 1 m dan ketebalan serbuk 5 cm; (d) ketinggian tandon 2 m dan ketebalan serbuk 1 cm; (e) ketinggian tandon 2 m dan ketebalan serbuk 3 cm; (f) ketinggian tandon 2 m dan ketebalan serbuk 5 cm.

air berwarna kecokelatan atau kehitaman. Kekeruhan pada air disebabkan oleh keberadaan bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur dan pasir halus). Dari hasil pengujian diperoleh nilai kekeruhan < 5 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm. Hasil maksimum diperoleh pada ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 5 cm dengan ketinggian tandon 2 m, yaitu menunjukkan hasil uji 0,2–0,3 NTU selama empat minggu. Hasil pengujian TDS menunjukkan hasil yang bervariasi dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm. Meskipun menunjukkan hasil bervariasi tetapi nilai TDS yang dihasilkan < 1000 mg/l (Tabel 1) dan telah sesuai dengan persyaratan air minum yang sehat berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang persyaratan air minum.

Berdasarkan hasil uji kimia, diperoleh data bahwa pada air uji tidak terdapat arsen karena hasil uji menunjukkan bahwa pada ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm mempunyai kadar arsen yang stabil, yaitu $< 0,005$ mg/l dari pengujian pada minggu pertama hingga minggu keempat. Air sumur Desa Pademonegoro mempunyai kadar merkuri

yang rendah sesuai dengan persyaratan air minum dengan kadar maksimal 0,001 mg/l. Hasil penjernihan maksimum terdapat pada ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 5 cm dengan ketinggian tandon 2 meter pada minggu pertama hingga minggu ketiga sebesar 0,0001 mg/l kemudian pada minggu keempat naik menjadi 0,0002 mg/l dan masih sesuai dengan persyaratan air minum. Hasil pengujian pH air uji menunjukkan nilai 7,3–7,4; sedangkan hasil pengujian pH pada air sumur Desa Pademonegoro sebelum penjernihan, yaitu 7,4. Hasil pengujian deterjen pada air sumur setelah proses penjernihan dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm menunjukkan hasil yang konstan dari minggu pertama hingga minggu keempat, yaitu $< 0,01$ (Tabel 2).

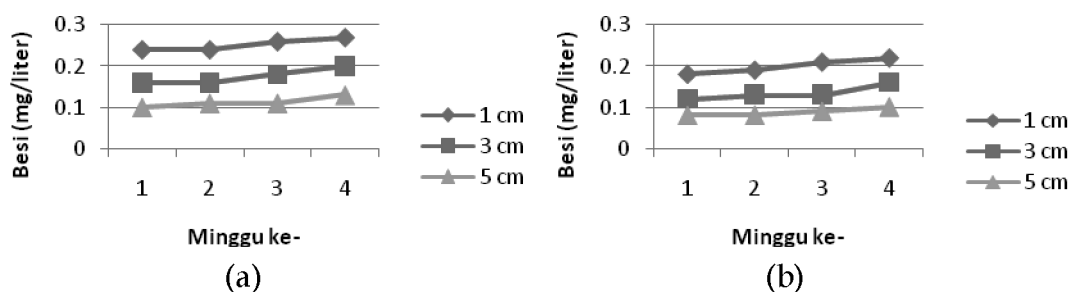
Hasil uji kadar besi pada air sumur Desa Pademonegoro sebelum penyaringan, yaitu 1,23 mg/l. Kandungan besi tersebut menyebabkan bahwa air sumur tersebut berwarna kuning kecokelatan dan berbau sehingga tidak layak untuk dikonsumsi. Hasil uji setelah proses penjernihan menunjukkan penurunan kadar besi yang signifikan, yaitu $< 0,3$ mg/l sehingga dapat dijadikan bahan baku air minum karena berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik

Tabel 1. Hasil uji fisika pada tinggi tandon 2 m dengan tebal serbuk cangkang kerang 5 cm

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji Setiap Minggu			
		1	2	3	4
Bau	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
Rasa	-	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa
Warna	TCU	< 2	< 2	< 2	< 2
Kekeruhan	NTU	0,2	0,2	0,3	0,3
Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/liter	200	213	215	216

Tabel 2. Hasil uji kimia pada tinggi tandon 2 m dengan tebal serbuk cangkang kerang 5 cm

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji Setiap Minggu			
		1	2	3	4
Besi (Fe)	mg/liter	0,08	0,08	0,08	0,09
Mangan (Mn)	mg/liter	0,03	0,03	0,04	0,03
Raksa (Hg)	mg/liter	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
Arsen (As)	mg/liter	$< 0,005$	$< 0,005$	$< 0,005$	$< 0,005$
pH	-	7,3	7,3	7,4	7,3
Deterjen	mg/liter	$< 0,01$	$< 0,01$	$< 0,01$	$< 0,01$
Kesadahan	mg/liter	88,43	88,32	88,45	88,90



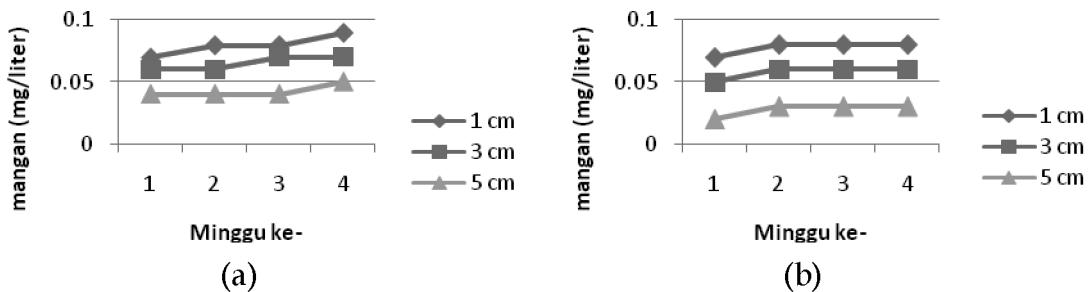
Gambar 5. Hasil uji kadar besi (a) ketinggian tandon 1 m; (b) ketinggian tandon 2 m

Indonesia Nomor 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang persyaratan air minum kadar besi maksimal yang diperbolehkan, yaitu 0,3 mg/l.

Berdasarkan grafik hasil uji besi pada ketinggian tandon 1 m dan 2 m dengan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu yang berbeda, dapat dianalisis titik jenuh dari media serbuk cangkang kerang bulu dengan variasi ketinggian tandon dan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu (Gambar 5). Titik jenuh media ditentukan dengan semakin meningkatnya hasil pengujian kadar besi hingga mencapai batas maksimum sehingga dapat diprediksi dengan menggunakan analisis regresi linier.

Hasil uji kadar mangan pada air sumur Desa Pademonegoro sebelum penyaringan, yaitu 2,19 mg/l. Hasil tersebut menyebabkan bahwa air sumur tersebut berwarna kuning kecokelatan dan berbau sehingga tidak layak untuk dikonsumsi. Hasil uji setelah proses penjernihan menunjukkan hasil yang signifikan, yaitu < 0,1 mg/l sehingga dapat dijadikan bahan baku air minum karena berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang persyaratan air minum kadar mangan maksimal yang diperbolehkan, yaitu 0,1 mg/l.

Berdasarkan grafik hasil uji kadar mangan di atas dapat dianalisis titik jenuh dari media serbuk cangkang kerang bulu dengan variasi ketinggian tandon dan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu. Titik jenuh media ditentukan dengan semakin meningkatnya hasil pengujian kadar mangan hingga mencapai batas maksimum sehingga dapat diprediksi dengan menggunakan analisis regresi linier. Apabila media mengalami kejenuhan, maka perlu dilakukan penggantian media. Titik jenuh dari media serbuk cangkang kerang bulu pada setiap ketinggian tandon dan ketebalan serbuk cangkang kerang bulu (Tabel 3).



Gambar 6. Hasil uji kadar mangan (a) ketinggian tandon 1 m; (b) ketinggian tandon 2 m

Tabel 3. Titik jenuh media serbuk cangkang kerang dalam mengikat ion besi dan mangan

No	Alat Pengolahan dan Penjernihan Air	Lama media serbuk kerang bulu dalam mengikat	
		Besi	Mangan
1	Pada ketinggian tandon 1 m dengan ketebalan 1 cm	7 minggu	6 minggu
2	Pada ketinggian tandon 1 m dengan ketebalan 3 cm	12 minggu	12 minggu
3	Pada ketinggian tandon 1 m dengan ketebalan 5 cm	24 minggu	22 minggu
4	Pada ketinggian tandon 2 m dengan ketebalan 1 cm	10 minggu	10 minggu
5	Pada ketinggian tandon 2 m dengan ketebalan 3 cm	17 minggu	17 minggu
6	Pada ketinggian tandon 2 m dengan ketebalan 5 cm	33 minggu	27 minggu

SIMPULAN

Alat pengolah dan penjernih air dirancang dengan ketinggian tandon 2 m dan ketebalan serbuk cangkang 5 cm menghasilkan debit air 1,5 liter/menit serta memiliki waktu kejenuhan media dalam mengikat ion logam dalam air 27 minggu sesuai persyaratan air minum yang ditetapkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416/MENKES/PER/IX/1990 menunjukkan hasil yang maksimal, yaitu tidak berbau, tidak berasa, warna < 2 TCU, kekeruhan 0,2 NTU, TDS 200 mg/liter, kandungan zat besi (Fe) 0,08 mg/l, mangan (Mn) 0,03 mg/l; merkuri (Hg) 0,0001 mg/l; arsen (As) < 0,005mg/l; pH 7,3; detergen < 0,01 mg/l; kesadahan 88,32 mg/l.

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan dalam penyusunan artikel ini tentu tidak lepas dari berbagai pihak yang ikut membantu demi kelancaran dan kesempurnaannya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian skripsi S1 dari penulis pertama. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hibah pengembangan invensi teknologi kerakyatan bagi mahasiswa dalam *Pre-Mentoring Program* oleh RAMP-IPB dengan SK 407/RAMP/SP/2011 yang diberikan kepada penulis pertama.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerja Umum, 1990. *Kumpulan SNI (Standar Nasional Indonesia) Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air*. Departemen Pekerja Umum, Jakarta.
 Dance SP, 1977. *The Encyclopedia of Ark shells*. London, England: Blanford Press. 288 pp.
 Efendi H, 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.

EckenfelderWW, 1989. *Industrial Water Pollution Control*. second edition. McGraw-Hill, Inc. New York. 400 pp.

Hidayat J, 2009. *Pengembangan Produk Berbahan Sisa Cangkang Kerang bulu*. Studi kasus: Industri Kerang bulu Kenjeran, Surabaya.

Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 tanggal 3 September 1990.

Rosadi D, 2008. Kualitas Air Tanah Dangkal di Daerah Sidoarjo dan Sekitarnya. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 18(1): 38-50.