

KARAKTERISTIK AIR SUMUR DANGKAL DI WILAYAH KARTASURA DAN UPAYA PENJERNIHANNYA

CHARACTERISTICS OF SHALLOW WELL WATER IN KARTASURA AREA AND ITS EFFORT FOR FILTERING IT

Tuti Rahayu

Jurusan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Surakarta

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui: karakteristik air sumur, memperbaiki kualitas air secara kimia yang meliputi kadar logam Mn dan Fe dan efektivitas penggunaan arang tempurung kelapa pada upaya penjernihan air sumur dangkal di wilayah Kartasura. Penelitian ini dilakukan Juni sampai Desember 2003 dengan populasi adalah seluruh air sumur gali yang ada di Kartasura, Sukoharjo. Metode penentuan wilayah menggunakan purposive sampling. Sampel berjumlah 6 dengan sampling menggunakan Stratified random sampling. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi untuk karakteristik air dan eksperimen di laboratorium untuk data tentang kualitas air setelah penjernihan. Dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 1 faktor yaitu jumlah penggunaan filter air 10 kali kemudian analisis data menggunakan diskriptif kuantitatif dan uji Anava satu jalur (one way Anova). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa (a) kualitas air sumur secara fisik hasilnya baik, tetapi secara kimia yang terdiri dari unsur Mangan (Mn) dan Besi (Fe) melebihi ambang batas yaitu Makamhaji dan Pabelan. (b) Penggunaan arang tempurung kelapa dapat memperbaiki kualitas air sumur secara kimia. (c) Penggunaan arang tempurung kelapa menurunkan kadar mangan dan besi paling efektif adalah perlakuan selama 30 menit pertama

Kata Kunci: karakteristik air sumur, upaya penjernihan, filter air, arang tempurung kelapa

ABSTRACT

This research aims to know the characteristics of well water, to improve the quality of well water with khemis method consisting of Mn and Fe steel rate and to know the effectiveness of using shell of coconut charcoal lead in line with filtering shallow well water in Kartasura area. This research has been done on June up to December 2003 with all well water dig in Kartasura area of Sukoharjo as the population. This research applies purposive sampling to determine the area. There are 6 samples used in this research that are selected by using stratified random sampling. To know the characteristics of water, this research applies observation method and to get the data related with water quality after filtering, this study applies laboratory experiment. The collected data are analyzed by Complete Random Device (CRD) and One Way Anova. The results of the research show that a) physically, the quality of well water is good but in the form of khemis which consists of Mn and Fe Steel the quality of well water is exceeding boundary sill, they are in Makamhaji and Pabelan areas, b) the use of shell of coconut charcoal lead can improve the quality of well water with khemis method and the use of shell of coconut charcoal lead may decrease Mn and Fe steel rate effectively in around of 30 minutes first.

Keywords : *well water characteristic, filtering effort, water filter, and shell of coconut charcoal lead*

PENDAHULUAN

Manusia membutuhkan air dalam semua aspek kehidupan, untuk memasak, mandi, mencuci dan kebutuhan lainnya. Secara biologis air berperan pada semua proses dalam tubuh manusia, misalnya pencernaan, metabolisme, transportasi, mengatur keseimbangan suhu tubuh (Guyton, 1987). Kekurangan air akan menyebabkan gangguan fisiologis, bahkan mengakibatkan kematian apabila kekurangan tersebut mencapai 15% dari berat tubuh. Namun apabila air itu tidak jernih misalnya tercemar bahan organik, air akan merupakan media yang baik bagi kuman penyakit. Pada air tercemar bahan anorganik (*khemis*) akan menyebabkan gangguan fisiologis secara menahun bahkan ada yang bersifat toksis.

Dengan demikian, air yang diperlukan manusia harus memenuhi secara kuantitatif dan kualitatif. Dari aspek kuantitatif, jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan minum per orang rata-rata sebanyak 2,5 liter / hari, sedangkan secara keseluruhan kebutuhan suatu rumah tangga untuk masyarakat Indone-

sia diperkirakan sebesar 60 liter / hari (Sutrisno dan Suciastuti, 1991). Dari segi kualitas, air minum dan air bersih harus memenuhi syarat kesehatan baik secara fisik, kimia, mikrobiologis maupun radioaktif sesuai peraturan pemerintah melalui Dinas Kesehatan maupun lingkungan. Menurut Sanropie, dkk. (1984) air bersih harus bebas dari mikroorganisme patogen, bahan kimia berbahaya, warna, bau dan kekeruhan.

Air tanah pada umumnya tergolong bersih dilihat dari segi mikrobiologis, namun kadar kimia air tanah tergantung dari formasi litosfir yang dilaluinya atau mungkin adanya pencemaran dari lingkungan sekitar (Said, 1999). Dalam aliran air tanah, mineral-mineral dapat larut dan terbawa sehingga mengubah kualitas air tersebut. Air tanah sering mengandung unsur-unsur yang cukup tinggi menyebabkan air berwarna kuning kecoklatan dan bercak-bercak pada pakaian serta dapat mengganggu kesehatan, yaitu bersifat toksis terhadap organ melalui gangguan secara fisiologisnya, misalnya kerusakan hati, ginjal dan syaraf. Jika kita mengkonsumsi air minum secara terus menerus dengan kandungan mangan, besi, magnesium, kalsium dalam jumlah melebihi baku mutu air maka dimungkinkan adanya akumulasi logam tersebut dalam tubuh. Oleh karena itu untuk menghindari dampak negatif yang tidak diinginkan tersebut perlu dicari suatu teknik pengolahan air untuk menurunkan kadar Besi, Mangan dan logam berat lainnya dalam air sampai kadarnya di bawah ambang batas yang diperbolehkan.

Kecamatan Kartasura merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Sukoharjo yang terhitung sangat pesat perkembangannya. Hal ini dipacu dengan lokasi kecamatan tersebut yang merupakan pintu masuk ke Kota Surakarta dari arah Kota Yogyakarta dan Kota Semarang. Perkembangan ini menjadi, Kecamatan Kartasura terlihat seperti Kota Kecil. Perkembangan di bidang pendidikan terlihat dengan adanya perguruan tinggi swasta, Akademi, Sekolah Tinggi dan Lembaga Pendidikan Informal. Bidang sosial ekonomi dengan bermunculannya pertokoan, perseroan, Usaha Dagang bahkan sektor ekonomi informal lainnya. Dari hal inilah maka perkembangan penduduk tidak dapat terelakan.

Dengan peningkatan penduduk yang tinggi akibat banyak urbanisasi di Kecamatan Kartasura tersebut mengakibatkan perumahan menjadi berdekatan sehingga dimungkinkan jarak sumber air bersih tak lagi memenuhi syarat dan akhirnya memungkinkan adanya perubahan kualitas air. Hal ini dimungkinkan karena terkontaminasinya air sumur dengan mikroba yang berasal dari *septitank* tetangga bahkan mungkin berasal dari rumahnya sendiri. Dengan demikian air sumur gali di Kecamatan Kartasura tersebut akan menawarkan kemungkinan yang tidak memenuhi syarat kesehatan. Mikroba yang sering ada dalam air adalah *Sal-*

monella thyphi dan *S. paratyphi* penyebab tifus, paratifus, *Vibrio cholerae* penyebab kholera, *Shigella dysenteriae*, *E coli* penyebab disentri dan bahkan dapat juga menyebabkan penyakit kulit dan cacangan (Sutrisno dan Eni Suciastuti, 1987).

Berdasarkan informasi dari PDAM kota Surakarta ternyata sumur –sumur di Kartasura mengandung kadar unsur logam yang melebihi ambang batas misalnya Mendingan (Mangan sebesar 0,82 mg/l), Makamhaji (kadar Mangan 0,62 mg/L), di Kartasura (kadar Besi 0,54mg/L), Makamhaji kesadahnya mencapai 600Mg/L. Sedangkan berdasarkan standar dari Permenkes No. 416/ Menkes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum disebutkan bahwa kadar maksimal Mangan dalam air minum adalah sebesar 0,1 mg/l sedang dalam air bersih maksimal 0,5 mg/l. Kadar Besi air berrsih 1,0 mg/l dan air minum 0,1 mg/l sedangkan kesadahan air bersih dan air minum 500 mg/l. Dengan demikian dapat dikriteriakan kandungan beberapa logam dalam air sumur di Kecamatan Kartosura melebihi ambang batas.

Masyarakat pada umumnya tidak mengetahui akan hal ini, terlihat sebagian besar mereka menggunakan air sumur untuk mencukupi kebutuhan air rumah tangga tanpa ada perlakuan khusus. Hal ini dimungkinkan akibat persepsi masyarakat terhadap air bersih masih salah karena keterbatasan pengetahuannya. Dengan demikian, perlu adanya suatu kajian tentang karakteristik air sumur gali di wilayah itu dan suatu perlakuan upaya penjernihan untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Untuk mengupayakan penjernihan air yang berasal dari sumur biasanya hanya memerlukan bahan penyaringan sebagai absorber unsur logam sehingga dapat sekaligus menghilangkan warna, bau dan dimungkinkan kadar logam juga turun.

Menurut Kusnaedi (1998), arang sering digunakan sebagai absorber karena dapat melakukan absorpsi / penyerapan unsur-unsur logam ataupun fenol dalam air sehingga menjadi jernih. Absorpsi yang sering digunakan adalah arang aktif yang dalam pengolahan air biasanya dipakai dalam saluran berfilter arang aktif. Arang kayu, arang batubara juga mempunyai sifat absorben seperti halnya pada arang aktif. Menurut Rusli Kholik (2001), arang batu bara dapat dimanfaatkan sebagai media penyaring air yang dapat menurunkan kadar Besi dan menurut Ambarwati (2001), mendapatkan optimasi dalam pengaliran secara langsung sepanjang 100 cm arang batubara dengan ukuran dari 1 mm², 3 mm² dan 5 mm² dapat menurunkan kadar Mn lebih dari 50 %. Padahal Arang batubara sebagai limbah dari pengecoran logam selama ini belum dimanfaatkan. Masyarakat pada umumnya juga memandang arang kayu maupun arang batok kelapa merupakan bahan bakar saja, artinya belum dimanfaatkan untuk penjernihan air. Dengan demikian hal ini dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pengolahan air minum dan sangat menarik untuk dikembangkan

dalam penelitian guna menurunkan unsur-unsur logam dan mikrobia dalam air. Supaya mengoptimalkan sifat absorbennya maka besarnya arang dibuat beragam, misalnya ukuran kurang dari 1 mm², 3 mm² dan 5 mm².

Tujuan dalam penelitian ini adalah 1) Untuk mengetahui karakteristik air sumur dangkal di wilayah Kartasura secara fisik dan khemis. 2) Untuk memperbaiki kualitas air yang meliputi kadar logam dalam air sumur di wilayah Kartasura. 3) Untuk mengetahui efektivitas penggunaan arang tempurung kelapa dalam penurunan logam air sumur .

METODE PENELITIAN

Populasi, Sampel dan Sampling

- a. Populasi: Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh air sumur gali yang ada di Kartasura, Sukoharjo , Surakarta meliputi 12 kalurahan yaitu Makamhaji, Gonilan, Kartasura, Singopuran, Ngadirejo, Gumpang, Ngemplak, Pucangan, Wirogunan, Kertonatan, Ngabeyan, dan Pabelan.
- b. Sampel: Sampel dalam penelitian ini adalah air dari sumur Makamhaji dan Ngadirejo sebagai sampel wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi; Ngabeyan dan Pabelan sebagai sampel wilayah dengan kepadatan penduduk sedang; Gumpang dan Ngemplak sebagai sampel wilayah dengan kepadatan penduduk rendah.
- c. Sampling : Sampel wilayah Kartasura diambil dengan cara *purposive sampling* dengan kriteria adanya perkembangan penduduk yang tinggi. Untuk penentuan lokasi sampel menggunakan *stratified random sampling*, dengan membagi Wilayah Kartasura menjadi 3 kelompok berdasarkan kepadatan penduduk (padat, sedang dan rendah). Untuk teknik penentuan sampel sumur penduduk dengan *random sampling*.

Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas
Variabel bebas yaitu variabel yang berpengaruh. Dalam penelitian ini yang termasuk variabel bebas yaitu jumlah penggunaan dan lama penggunaan arang tempurung kelapa sebagai filter air.
- b. Variabel terikat
Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yaitu penurunan kadar Mangan (Mn) dan besi (Fe).

Alat dan Bahan

- a. Alat
Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah: Pipa PVC diameter 4

inci dan panjang 110 cm 5 buah. Dop PVC ukuran 4 inci 10 buah, Kran ukuran 1 inci sebanyak 8 buah, Jerigen ukuran 20 liter 2 buah, Saringan arang ukuran, 1 mm², 3 mm² dan 5 mm². Spektrofotometer Dr / 2000, Termometer, Kertas lakmus.

b. Bahan

Bahan dalam penelitian ini adalah arang tempurung kelapa, sampel (air sumur gali), akuades.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu jumlah penggunaan arang tempurung kelapa sebagai filter air, sedangkan variabel terikat yaitu penurunan kadar Mangan (Mn) dan besi (Fe).

Prosedur Penelitian

- a. Prosedur pengambilan contoh air. Menyiapkan alat sampling berupa jerigen dengan pemberat, Membilas jerigen dengan sampel sebanyak 3 kali, Mengambil sampel pada kedalaman kurang lebih 20 cm dari permukaan air, Menutup jerigen, Membawa sampel ke laboratorium PDAM untuk pemeriksaan kadar logamnya.
- b. Prosedur pembuatan arang, membuat arang kayu ataupun membeli jadi, menumbuk arang batu bara sampai halus, Menyaring tumbukan arang tempurung kelapa dengan ukuran 1 mm², 3 mm² dan 5 mm², Mencuci arang dengan akuades, kemudian dikeringkan dan siap digunakan.
- c. Pembuatan filter air. Filter air dibuat dengan menggunakan pralon 1 meter diameter 12 cm, bagian bawah ditutup rapat dan diberi kran. Pralon diisi arang tempurung kelapa masing-masing ukuran setinggi 33,33 cm, dengan urutan dari atas ukuran sedang, lembut dan kasar. Bagian atas pralon ditutup rapat dan diberi kran air untuk masuknya air ke filter.
- d. Perlakuan. Perlakuan dalam penelitian ini adalah jumlah penggunaan filter air sejumlah 10 penggunaan. Air sampel dialirkan melalui filter air tersebut. Antara perlakuan satu dengan yang lain diberi selang waktu 1 jam, setiap perlakuan dibiarkan mengalir selama setengah jam. Air sampel yang diperlakukan melalui filter adalah salah satu air sumur yang kandungan unsur logam (Fe dan Mn) melebihi baku mutu air minum. Sebagai kontrol terhadap perlakuan ini adalah air sumur yang tidak dialirkan melalui filter.
- e. Prosedur pengukuran kadar logam dengan Spektrofotometer DR/2000. Hidupkan power, Tekan 295 READ/ENTER (di layar akan muncul DIAL nm TO 525), Putar panjang gelombang pada 525 nm, ENTER. Isi salah satu kuvet dengan sampel sebanyak 25 ml, Tambahkan satu bungkus Buffer

Powder Pillow Citrate dan homogenkan, Setelah homogen tambahkan satu bungkus *Sodium Periodate Powder Pillow* dan homogenkan kembali, Tekan SHIFT TIMER. Saat terdengar bunyi, di layar akan muncul mg/l Mn H, Isi kuvet yang lain dengan sampel sebanyak 25 ml (sebagai blangko), Letakkan blangko pada holder sel dan tutup, Tekan ZERO. Letakkan kuvet lain pada holder sel dan tutup, Tekan READ/ENTER.

Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, studi pustaka dan eksperimen.

Teknik Analisis Data

Analisis data diskriptif kuantitatif untuk tujuan penelitian pertama dan dengan uji **Anava satu jalur (*one way Anova*)** dengan taraf signifikan 95%, untuk tujuan penelitian kedua dan ketiga.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Karakteristik Air Sumur

Untuk mengetahui karakteristik air sumur gali yang ada di wilayah Kartasura, maka diambil sampel sebanyak 5 lokasi yang ditentukan secara acak. Sebelumnya dipilih lokasi yang relatif padat penduduk dan tidak padat. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Fisik dan Kimia Air Sumur Gali di Kartasura

No	Parameter	Satuan	Batas	Hasil Analisa					Keterangan	
			Syarat Air Minum	A	B	C	D	E		F
I. FISIKA										
1	Bau		tak berbau	tak berbau	tak berbau	tak berbau	tak berbau	tak berbau	tak berbau	
2	Rasa		tak berasa							
3	Suhu	°C	± 3 °C	27	27	27	27	27	27	
4	Kekeruhan	Unit	5	0	0	0	0	0	0	
5	Warna	Unit	15	-	-	-	-	-	-	
II. KIMIA										
6	pH		6,5 – 8,5	6,6	6,6	6,6	6,7	6,7	6,7	
7	Daya hantar listrik	µS/cm		515	520	520	540	373	380	
8	CO ₂ bebas	mg/l		65,82	61,71	61,71	45,25	45,25	45,25	Sbg CO ₂
	CO ₂ agresif	mg/l		44,82	42,71	42,71	10,25	20,25	19,20	Sbg CO ₂

9	Alkalinitas									
	a. Phenolptalein	mg/l	0	0	0	0	0	0		
	b. Total	mg/l	137,17	141,84	141,84	280,11	225,76	220,07	sbg CaCO ₃	
	c. Hidroksida	mg/l	0	0	0	0	0	0	sbg CaCO ₃	
	d. Karbonat	mg/l	0	0	0	0	0	0	sbg CaCO ₃	
	e. Bikarbonat	mg/l	137,17	141,84	141,84	280,11	225,76	220,07	sbg CaCO ₃	
10	Kesadahan	mg/l	500	233,64	244,86	244,86	222,43	149,53	145,53	sbg CaCO ₃
11	Kalsium	mg/l		50,09	55,33	55,33	42,62	32,90	34,60	sebagai Ca
12	Magnesium	mg/l		26,34	25,89	25,89	28,16	16,35	15,35	sbg Mg
13	Besi	mg/l	0,3	1,42	0,65	0,22	0,06	0,08	0,08	sbg Fe
14	Mangan	mg/l	0,1	1,02	1,05	0	0,5	0,48	0,48	sbg Mn
15	Ammonium	mg/l		0,15	0,15	0,15	0	0	0	sbg NH ₄ ⁺
16	Nitrit	mg/l	3	0	0,012	0,012	0,003	0,001	0,001	sbg NO ₂ ⁻
17	Zat Organik	mg/l	10	0,91	3,34	3,34	0,91	2,13	1,13	sbg KMNO ₄
18	Klorida	mg/l	250	40	50,48	50,48	44,76	16,19	14,29	sbg Cl ⁻
19	Sulfat	mg/l	250	16,49	18,6	18,6	17,41	14,51	14,51	sbg SO ₄ ²⁻

Sumber : Data Primer

Keterangan : A: Makamhaji, B: Pabelan, C: Ngadirejo. D: Ngabean. E: Gumpang, F: Ngemplak

Dari Tabel 1. menunjukkan bahwa kualitas air sumur secara fisik hasilnya baik, tetapi kualitas kimia unsur Mangan (Mn) dan Besi (Fe) melebihi ambang batas. Kualitas air minum yang sehat harus memenuhi syarat-syarat kesehatan yang meliputi : syarat fisik, khemis dan mikrobiologis. Berdasarkan hasil penelitian ini, kualitas air sumur secara fisik sebagai berikut :

a. Warna

Warna air sumur dari Makamhaji dan Pabelan jernih biru kehitaman. Warna dalam air ini dapat disebabkan oleh adanya zat-zat yang terkandung di dalamnya, seperti adanya pencemaran dari pembuangan limbah industri, material, humus, gambut, ganggang dan protozoa, *True color* yang merupakan warna yang ditimbulkan oleh zat-zat selain zat organik. Hasil ini sesuai dengan analisis kimia air, yaitu adanya unsur Mn yang melebihi baku mutu (Tabel 1).

b. Rasa

Air sampel dari semua sumur tidak berasa seperti asin, manis, pahit dan asam. Biasanya rasa dan bau terjadi secara bersama-sama akibat dari dekomposisi bahan organik dalam air. Selain itu ada beberapa senyawa kimia tertentu yang dapat menimbulkan rasa dalam air seperti NaCl yang menyebabkan air berasa asin dan Mg.

c. Bau

Air sumur sampel dari Makamhaji dan Pabelan berbau amis. Bau ini disebabkan oleh Fe (Tabel 1).

d. Temperatur

Temperatur air sumur sampel seluruhnya normal (Tabel 1). Penyimpangan terhadap standart ini akan menyebabkan meningkatnya daya atau tingkat toksisitas bahan kimia atau bahan pencemar dalam air dan pertumbuhan mikroba dalam air.

e. Kekeruhan

Keseluruhan air sumur sampel jernih (Tabel 1), berarti tidak mengandung terlalu banyak partikel bahan yang tersuspensi. Batas maksimum kekeruhan yang diperbolehkan adalah 5 *turbidity units*.

2. Kualitas Air Sumur Secara Khemis

Kualitas air sumur secara khemis secara keseluruhan (19 parameter) masih di bawah ambang batas, namun unsur besi dan mangan melebihi ambang batas terutama air sumur dari Makamhaji dan Pabelan. Kedua lokasi ini merupakan lokasi dengan kepadatan penduduk tinggi dan sedang.. Keberadaan Fe dan Mn dalam air dimungkinkan karena faktor litosfer. Di samping itu sumur sampel dari Makamhaji yang diambil berdekatan dengan bekas bengkel (pengecatan). Besi dan Mangan merupakan 2 zat yang selalu ada secara bersamaan dalam air. Kedua jenis logam ini dapat menghambat proses disinfeksi. Hal ini disebabkan karena Klor yang seharusnya digunakan untuk mengikat bahan organik juga dipakai untuk mengikat Besi dan Mangan, sehingga sisa klor menjadi lebih sedikit. Dengan demikian diperlukan disinfektan yang lebih banyak dalam pengolahan air. Selain itu Besi dan Mangan juga menyebabkan air menjadi berwarna keruh. Kadar Besi maksimum yang diperbolehkan dalam air minum adalah sebanyak 0,3 mg/l sedang kadar Mangan maksimum dalam air minum adalah 0,1 mg/l.

Kebanyakan logam yang terlarut dalam air merupakan zat toksis terhadap alat dalam, bila konsentrasinya lebih dari dari ambang batas. Selain dari itu akan menimbulkan noda-noda kecoklatan pada pakaian dan dapat menyebabkan bau pada minuman. Logam dalam air dibutuhkan manusia dalam jumlah yang sangat kecil sekali, namun jika keberadaannya melebihi ambang batas akan membahayakan kesehatan secara keseluruhan. Keberadaan logam yang terlalu besar akan mengacau proses biokimia sel tubuh manusia dan akhirnya bersifat meracuni. Oleh sebab itu keberadaan logam dalam air minum harus memenuhi Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum.

3. Upaya Penjernihan Air Sumur

Berdasarkan Tabel 1, karakteristik kualitas fisik dan kimia air sumur di Wilayah Kartasura tersebut menunjukkan bahwa unsur yang melebihi ambang batas adalah Mangan dan besi. Air sumur sampel dengan kadar Mangan dan Besi yang melebihi ambang batas terdapat di Daerah Widororejo dan Kuyudan. Oleh sebab itu upaya penjernihan pun dikususkan pada penurunan kadar Mangan dan besi. Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Filter dilakukan dengan 10 kali waktu penggunaan dengan ulangan 3 kali pada penurunan kadar besi (Fe) pada Air Sumur di wilayah Kartasura diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Kadar Besi(mg/L) pada Air Kontrol dan Setelah Perlakuan arang batok kelapa

U	Kontrol	Sesudah Perlakuan (mg/l)									
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
1.	0,49	0,04	0,08	0,08	0,09	0,09	0,12	0,12	0,14	0,16	0,21
2.	0,37	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,11	0,12	0,16
3.	0,44	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,21
\bar{X}	0,43	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,20

Sumber : Data Primer

P1 adalah penggunaan pertama, dan seterusnya.

Dari data di atas kemudian dilanjutkan dengan perhitungan penurunan kadar Besi pada air sumur untuk mengetahui tingkat penurunan kadar Besi dan prosentase dari penurunannya (Tabel 3).

Tabel 3. Perhitungan Penurunan Kadar Besi (Fe) dalam mg/l dan Rerata Persentase

Ulangan	Jumlah Penggunaan									
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
1.	0,45	0,41	0,41	0,40	0,40	0,37	0,37	0,35	0,33	0,28
2.	0,35	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30	0,27	0,26	0,25	0,21
3.	0,39	0,39	0,36	0,36	0,36	0,36	0,34	0,34	0,34	0,23
\bar{X}	0,40	0,38	0,37	0,36	0,36	0,34	0,33	0,32	0,31	0,24
%	91,6	88,9	85,7	84,2	84,2	79,5	75,3	73	70,7	55,4

Sumber : Data Primer

Keterangan : P1 adalah penggunaan pertama, dan seterusnya.

Penelitian ini dilaksanakan di luar ruangan, maka terdapat faktor-faktor luar yang mempengaruhi daya serap arang tempurung kelapa. Hasil pengukuran kondisi lingkungan meliputi : suhu air 26,5-31°C , pH air 7,5 suhu udara 24,33-33 °C dan kelembaban udara 58 %- 82 %. Hasil pemeriksaan terhadap kadar mangan (Mn) pada air sumur gali wilayah Kartasura, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Kadar Mangan pada Kontrol dan Setelah Perlakuan arang batok kelapa

U	Kontrol	Sesudah Perlakuan (mg/l)									
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
1.	1,16	0,36	0,61	0,74	0,81	0,85	0,88	0,89	0,89	0,92	0,95
2.	1,14	0,25	0,36	0,49	0,67	0,95	0,95	0,95	1,01	1,01	1,02
3.	1,19	0,87	0,88	0,88	0,90	0,95	0,95	1,01	1,03	1,07	1,07
\bar{X}	1,16	0,49	0,61	0,70	0,79	0,92	0,93	0,95	0,98	1,00	1,01

Sumber : Data Primer

Keterangan : P1 adalah penggunaan pertama, dan seterusnya.

Untuk mengetahui adanya penurunan kadar kadar Mangan dalam mg/l maka diperlukan perhitungan selisih antara kadar Mangan perlakuan dikurangi kadar Mangan air kontrol.

Tabel 5. Perhitungan Penurunan Kadar Mangan dalam mg/l Hubungannya dengan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa

Ulangan	Jumlah Penggunaan									
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
1.	0,80	0,55	0,42	0,35	0,31	0,28	0,27	0,27	0,24	0,21
2.	0,89	0,78	0,65	0,47	0,19	0,19	0,19	0,13	0,13	0,12
3.	0,32	0,31	0,31	0,29	0,24	0,24	0,18	0,16	0,12	0,12
\bar{X}	0,67	0,55	0,46	0,37	0,25	0,24	0,21	0,19	0,16	0,15
%	57,9	47,2	39,7	31,9	21,1	20,3	18,39	16,0	14,0	12,9

Sumber : Data Primer

Keterangan: P1 adalah penggunaan pertama, dan seterusnya.

Pembahasan

Dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa kualitas air sumur gali di wilayah Kartasura secara fisik baik, terlihat jernih walaupun sebenarnya sebagian dari sumur didapati berbau amis. Hal ini dimungkinkan dari kualitas air sumur secara kemis yang tidak baik, terlihat dari sampel air sumur di Daerah Kuyudan dan Widorejo mengandung kadar logam Besi dan Mangan yang melebihi ambang batas. Kandungan logam di dalam air tersebut akan mengakibatkan gangguan fisik dan kemis bagi alat-alat rumah tangga dan secara biologis air tersebut akan mengganggu fisiologis tubuh kita. Kadar Besi pada air sumur gali Kartasura didapatkan di atas ambang batas air minum yaitu 0,53 mg/l. Jika kita perhatikan ada selisih 0,10 dengan kadar Besi pada saat pelaksanaan penelitian kadar Besi rata-rata 0,43 mg/l). Perbedaan ini dimungkinkan karena adanya perbedaan waktu pengambilan sampel. Kandungan logam dalam air dapat berubah - ubah dan sangat tergantung pada lingkungan dan iklim. Pada musim hujan, kandungan logam akan lebih kecil karena proses pelarutan, sedangkan pada musim kemarau kandungan logam akan lebih tinggi karena logam menjadi terkonsentrasi.

Penyebab terjadinya pencemaran air sumur ada 2, yaitu berasal dari air permukaan dan berasal dari dalam tanah. Air hujan yang mengandung mikroorganisme jatuh ditanah kadang membuat genangan dipermukaan tanah, diperparah lagi dengan adanya muatan sampah sehingga menjadikan air tersebut sangat kotor. Air genangan ini lambat laun akan terserap ke dalam tanah sehingga membuat pencemaran dalam sumber air.

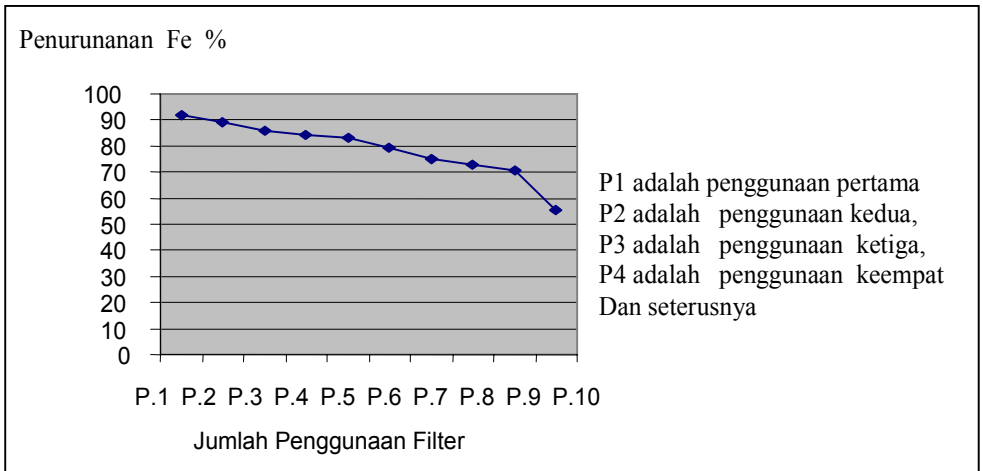
Oleh sebab itu, air tersebut perlu diberi perlakuan dahulu sebelum digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup kita terutama kebutuhan masak dan minum. Dalam penelitian ini mencoba memberi perlakuan air sumur tersebut dengan melewatkannya di dalam bejana yang berisi arang tempurung kelapa. Dalam penelitian ini kecepatan penyaringannya termasuk dalam filtrasi lambat ($0,2-2$ liter/menit/ ft^2), yaitu dengan kecepatan $0,8$ liter/menit/ ft^2) karena dalam 15 menit dihasilkan 12 liter air. Sistem aliran yang digunakan adalah sistem aliran gravitasi (*gravitasi filtration*) yaitu aliran dari atas ke bawah. penelitian ini digunakan tipe *three medium* yaitu dengan memvariasikan ukuran arang tempurung kelapa, yaitu halus (saringan 3 mm^2), sedang (saringan 6 mm^2) dan kasar (saringan 9 mm^2), dengan susunan arang dari atas ke bawah : sedang, halus, dan kasar.

Arang tempurung kelapa sebagai absorber memiliki titik kejenuhan yaitu saat permukaan arang telah mengabsorpsi bahan terlarut dalam air. Oleh sebab itu untuk mengetahui seberapa lama pemakaian arang mampu digunakan sebagai absorber, penelitian ini menggunakan perlakuan jumlah penggunaan arang. Dalam penelitian ini jarak waktu penggunaan satu dengan penggunaan berikutnya adalah 1 jam. Berdasarkan hasil uji statistik dengan menggunakan uji anova satu jalur yaitu untuk mencari pengaruh penggunaan arang tempurung kelapa sebagai filter terhadap kadar besi. Didapatkan $F_{hitung} = 134,765$, sedangkan F_{tabel} pada signifikansi 5% diperoleh angka 2,30. Oleh karena $F_{hitung} = 134,765 > F_{tabel} = 2,30$ atau F_{hitung} terletak pada daerah ditolak atau H_0 ditolak yang artinya penurunan kadar Besi pada kesepuluh perlakuan berbeda nyata, sehingga dapat dikatakan ada pengaruh penggunaan arang tempurung kelapa sebagai filter terhadap penurunan kadar Besi pada air. Dengan demikian arang tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk pengolahan air sumur gali, khususnya dalam menurunkan kadar Besi dan kekeruhan. Arang tempurung memiliki kapasitas yang tinggi dalam mengabsorpsi gas dan zat-zat warna. Selain bersifat ekonomis, arang tempurung merupakan sisa buangan atau limbah industri maupun rumah tangga, sehingga dapat memanfaatkan limbah sebagai media untuk pengolahan air bersih.

Arang tempurung kelapa ini yang berperan sebagai absorben akan menyerap logam-logam berat dengan penyerapan ion-ion bebas yang ada pada

air, termasuk Besi sehingga arang tempurung sering digunakan sebagai arang/karbon aktif. Karbon aktif adalah suatu bahan yang berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta mempunyai kemampuan daya serap (adsorpsi) yang baik. Karbon aktif digunakan sebagai bahan pemucat (penghilang zat warna), penyerap gas, penyerap logam, dsb. Dari bahan tersebut yang paling sering dipergunakan sebagai bahan adsorbent adalah *activated carbon* atau lebih dikenal sebagai arang tempurung kelapa.

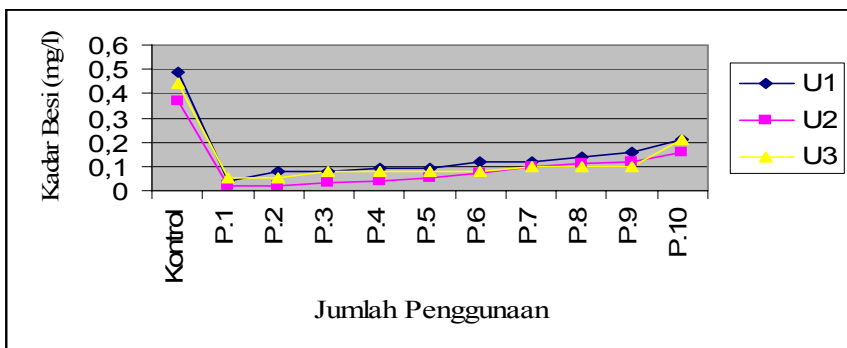
Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat diketahui tingkat penurunan kadar Besi (Fe) yang paling tinggi sekaligus paling efektif, yaitu pada penggunaan pertama (Tabel 2. dan Gambar 1.).



Sumber : Data Primer, Tabel 3

Gambar 1. Grafik Penurunan Kadar Besi Rata-Rata (%) pada Air Sumur

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan, semakin sering digunakan semakin banyak unsur Besi yang terserap sehingga proses penyerapan selanjutnya menurun. Dengan demikian semakin banyak digunakan, semakin sedikit penurunan kadar besinya. Jadi apabila semakin tebal arang tempurung kelapa dan semakin sedikit penggunaan filter dengan media arang tempurung kelapa maka akan semakin efektif. Dengan demikian kadar Besi air dari penggunaan pertama sampai kesepuluh semakin naik (Gambar 2).



Sumber : Data primer, Tabel 2.

Gambar 2. Grafik Kadar Besi Air Sumur

Penurunan yang efektif atau yang tertinggi didapatkan pada penggunaan pertama yaitu sebesar 0,40 mg/l (91,69%) (Gambar 1 dan 2), Hal ini disebabkan karena arang tempurung kelapa sebagai filter baru pertama kali digunakan, jadi arang tempurung kelapa belum bekerja atau belum mengikat unsur-unsur kimia yang terdapat dalam air tersebut. Pada pemeriksaan ini tidak didapatkan hasil penurunan sampai 100% tetapi mendekati yaitu 91,69%.

Penggunaan ke-10 belum dapat dikatakan bahwa arang tempurung kelapa sudah mencapai titik kejenuhan, karena penggunaan ke-10 masih menunjukkan penurunan. Jika dibandingkan dengan standar air minum, maka sampai pada penggunaan ke-10 masih memenuhi standar air minum, karena standar Besi untuk standar air minum adalah 0,3 mg/l.

Berdasarkan hasil pemeriksaan suhu air, pada beberapa penggunaan dapat diketahui bahwa arang tempurung kelapa mempengaruhi suhu air. Hal ini dipengaruhi oleh faktor luar, yaitu intensitas cahaya matahari, dapat dilihat pada hasil pengukuran suhu air pada Tabel 3. Di dalam tabel tersebut terlihat bahwa dengan suhu yang sama, arang tempurung kelapa dapat menyerap kadar Besi yang berbeda. Walaupun suhu air berubah-ubah, kadar Besi tetap mengalami kenaikan, sehingga dapat diketahui bahwa kenaikan kadar Besi disebabkan karena semakin banyak digunakan. Dari hasil pengukuran suhu air dapat diketahui bahwa suhu air tergolong normal, karena air mempunyai suhu rata-rata antara 26-30°C. Data hasil pemeriksaan pH air, baik kontrol maupun perlakuan, pH air tetap yaitu 7,5. Dari hasil ini juga dapat diketahui bahwa pH air tergolong bersifat basa, tetapi masih memenuhi standar, yaitu diantara 6,5-8,5.

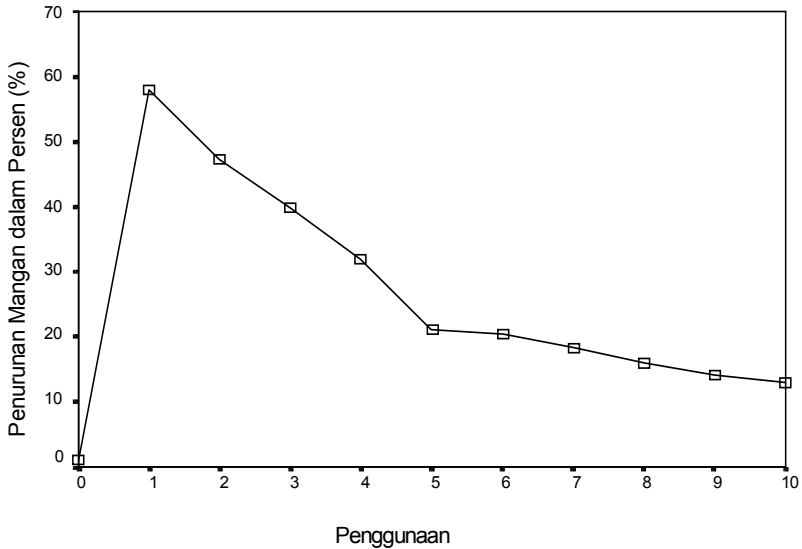
Sedangkan kandungan Mangan pada air sumur 1,16 mg/l, sedangkan Berdasarkan Permenkes No. 416/Per/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Air Minum dan Air Bersih disebutkan bahwa kadar maksimum Mn dalam air minum sebesar 0,1 mg/l dan air bersih sebesar 0,5 mg/l. Dengan demikian air sumur saampel tidak memenuhi syarat sebagai air minum maupun air bersih. Tingginya kadar mangan pada air sumur dimungkinkan karena adanya gas-gas yang biasa terlarut dalam air yang dapat menyebabkan korosif, yaitu O_2 , CO_2 , dan H_2O . Konsentrasi mangan yang lebih dari 0,5 mg/l akan berpengaruh kurang baik terhadap kesehatan dan lingkungan. Logam mangan bersifat toksis terhadap alat pernapasan dan dapat menyebabkan bau dan pada minuman, bila konsentrasinya lebih dari 0,5 mg/l akan menimbulkan noda-noda kecoklatan pada pakaian. Konsentrasi mangan yang lebih besar dari 0,5 mg/l akan menyebabkan rasa aneh pada minuman dan dapat menyebabkan kerusakan pada hati.

ng Kelapa

Penelitian ini sebagai salah satu upaya pengolahan air secara fisika untuk mengurangi kadar mangan dalam air sumur dengan menggunakan arang

tempurung kelapa.

Dengan variabel jumlah penggunaan diharapkan dapat diketahui pengaruh jumlah penggunaan filter terhadap penurunan kadar mangan, selain itu diharapkan juga dapat diketahui tingkat kejenuhan arang tempurung kelapa untuk menurunkan kadar mangan. Berdasarkan hasil pemeriksaan kadar mangan air sumur pada kontrol didapatkan hasil kadar mangan rata-rata sebesar 1,16 mg/lit. Untuk hasil selengkapnya pemeriksaan kadar mangan dilihat pada Tabel 4. dan Gambar 3.



Sumber : Data primer, Tabel 5

Gambar 4. Grafik Penurunan Kadar mangan (%) dalam Air Sumur pada Perlakuan Jumlah Penggunaan Arang Tempurung Kelapa sebagai Filter

Air yang telah diberi perlakuan dengan jumlah penggunaan yang berbeda tersebut dapat diketahui bahwa penurunan yang paling efektif terjadi pada penggunaan pertama dengan penurunan sebesar 0,67 mg/lit (59,98%) dengan kadar mangan sebesar 0,49 mg/lit (Gambar 4). Kandungan mangan sebesar 0,4 mg/lit dapat digunakan sebagai air bersih, tetapi belum dapat dipergunakan sebagai air minum. Agar dapat digunakan sebagai air minum, air sumur gali tersebut perlu diberi perlakuan dengan menambah ketebalan arang tempurung kelapa atau menambah waktu kontak atau dengan cara memperkecil ukuran arang

tempurung kelapa. Semakin tebal arang makin besar kadar penurunan mangan dan makin lama waktu kontak makin besar juga penurunan kadar mangannya. Selain daaari itu semakin luas permukaan adsorben maka daya serap adsorben semakin besar sehingga kadar logam dalam air semakin kecil .

Penggunaan pertama merupakan penggunaan yang paling efektif dalam menurunkan kadar mangan maupun kadar besi. Hal ini dapat dipahami karena pada penggunaan pertama arang tempurung kelapa belum pernah digunakan sebelumnya sehingga dimungkinkan kemampuan untuk menyerap logam masih optimal. Selain itu, pada penggunaan pertama arang tempurung kelapa digunakan untuk mengadsorbsi logam. Semakin lama adsorben digunakan maka volume air yang melewati filter semakin banyak, sehingga dimungkinkan kadar logam yang telah terserap oleh arang tersebut juga sudah banyak banyak. Namun demikian sampai pemeriksaan pada kesepuluh kali penggunaan belum dapat disimpulkan arang tempurung kelapa sudah mencapai titik kejenuhan karena pada kesepuluh kali penggunaan hasilnya masih di bawah kontrol.

Berdasarkan uji Anova (*Analysis of Varians*) dengan taraf signifikansi 5% diperoleh probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak atau kadar mangan rata-rata dari ke sebelas jumlah penggunaan tersebut berbeda nyata. Karena kadar mangan rata-rata dari ke sebelas jumlah penggunaan tersebut berbeda nyata, maka dapat dinyatakan bahwa jumlah penggunaan arang tempurung kelapa sebagai filter berpengaruh terhadap penurunan kadar mangan dalam air sumur.

Dari hasil pengamatan diketahui bahwa air sumur tersebut berwarna kebiruan sehingga pada air kontrol tampak agak kebiruan-biruan. Tanda-tanda adanya mangan dalam air yaitu jika air berwarna ungu atau hitam kebiruan. Warna air sumur tersebut setelah perlakuan berubah menjadi jernih. Hal ini disebabkan karena adsorben mempunyai kemampuan untuk mengurangi warna. Sedangkan bau air sumur pada air kontrol sangat menyengat, ini dimungkinkan karena adanya mikroorganisme, bahan mineral, gas terlarut dan bahan-bahan organik. Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa air kontrol sangat berbau dan pada penggunaan pertama sampai penggunaan ke delapan air tidak berbau. Sedangkan pada penggunaan sembilan sampai penggunaan ke sepuluh air tersebut agak berbau. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa arang tersebut dapat mengurangi bau pada air.

Arang tempurung kelapa mengandung karbon yang kemudian berperan sebagai adsorben yang akan menyerap logam-logam berat dengan penyerapan ion-ion bebas yang ada di air termasuk mangan. Proses kerja penyerapan (adsorpsi) yaitu penyerapan ion-ion bebas di dalam air yang dilakukan oleh adsorben. Arang tempurung kelapa mengandung kadar air, bahan mudah menguap, kadar abu dan karbon. Kandungan karbonnya lebih tinggi dibanding

dengan kandungan lainnya. Karbon dapat diperoleh dalam berbagai bentuk yang dikenal dengan nama karbon amorf. Bila batu bara, kayu atau bahan organik lainnya dipanaskan tanpa udara berbagai zat yang menguap mudah dikeluarkan meninggalkan residu dengan karbon yang tinggi. Karena tingginya luas permukaan terhadap volume maka karbon aktif, menunjukkan sifat yang kuat terutama kemampuan untuk mengadsorpsi. Adsorpsi merupakan fenomena fisika yang sangat tergantung pada luas permukaan dan volume pori. Struktur pori itu menyebabkan ukuran molekul yang diadsorpsi itu terbatas, sedangkan bila ukuran partikelnya tidak menjadi masalah kuantitas bahan yang diserap dibatasi oleh luas permukaan adsorben.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) air sumur dangkal di wilayah Kartasura mempunyai kualitas secara fisik baik, secara khemis tidak baik terutama Makamhaji dan Pabelan (kadar Mangan dan Besi melebihi ambang batas), dan (2) penggunaan arang tempurung kelapa dalam penurunan Mangan dan Besi air sumur yang paling efektif adalah penggunaan pertama (30 Menit pertama), tetapi sampai penggunaan kesepuluh belum jenuh (masih mampu menurunkan kadar logam).

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini maka disarankan: (1) bagi para calon peneliti, diharapkan mencoba penggunaan arang tempurung kelapa dalam penurunan kadar logam di air yang berbeda dan dengan perlakuan kontak yang lebih lama. Juga dengan mengupayakan kualitas air secara fisik dan khemis menggunakan macam arang yang lain, dan (2) bagi masyarakat umum dan khususnya masyarakat Kartasura dapat mengupayakan kualitas air secara fisik dan khemis dengan menggunakan filter yang berasal dari arang tempurung kelapa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, Nanik. 2001. *Pengaruh Pengolahan Air Dengan Sistem Aerasi Bertingkat dan Filter Zeolit Terhadap Kadar Besi dan Mangan di Sumur Gali Desa Poncosari, Sondakan, Bantul*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Ambarwati. 2001. *Pengaruh Ketebalan Arang Batu Bara dan Lama Kontak Terhadap Penurunan Kadar Mangan air Sumur di Desa Mendungan, Pabelan, Kartosuro*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.

- Behar. David. Rabani, Joseph. 2001, Laser Photolysis of TIO₂ Layers in the Presence of Aqueous Iodine. *Journal Of Physical Chemistry*. Vol 105. USA. P6324-42.
- Burger. Craig A, Shakelford, Charles D. 2001. Soil Water Characteristic Curves and Dual Porosity of Sand Diatomaceous Earth Mixtures. *Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol. 36. USA. P: 790-800
- Depkes RI. 1990. *Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/1990. Tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum*. Depkes RI. Jakarta.
- Djabu, Udin, dkk. 1991. *Pedoman Bidang Studi Pembuangan Tinja dan Air Limbah pada Institusi Pendidikan Sanitasi /Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Pusdiknakes.
- Entjang, Indan.1982. *Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Bandung: Alumni.
- Guyton. A.C. 1987. *Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: EGC.
- Gypsona Group UNHAS. 1996. *Penyaringan Air Minum Secara Sederhana di Pedesaan*. Balai Pustaka. Jakarta.
- Henderson. Richard. Carlson. Kennet. 2001. The Impact of Ferrous Ion Reduction of Chlorite Ion on Drinking Water Proses Performance. *Journal Of Water Rsearch*. Vol. 35 .USA. P: 4464-73.
- Iskak. 1980. *Geografi*. Intan Pariwara. Klaten. Jateng.
- Kemas Ali dan Hanafiah.1994. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Rajawali Press.
- Kholik Rusli. 2001. Uji Efektivitas Ketebalan Arang Batu Bara Banko Sebagai Medi Penyaring dalam Penurunan Kadar Besi pada Air minum di Kel Kasrang Raja. *Prabumulih, Sum-Sel*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- Korn, Et al.2002. Development of Chlorine Dioxide Related By Product Models for Drinking Water Treatment. *Journal of Water Research*. Vol. 36. USA. P: 330-42.
- Kusnaedi. 1998. *Mengolah Air Gambut dan Air Kotor Untuk Air Minum*. Jakarta: Penebar swadaya.
- Liu, W Et al. 2002. Investigation of Assimilable Organik Carbon (OAC) and Bacterial Regrowth In Drinking Water Distribution System. *Journal Water Research*. Vol. 36. Wilson Company. USA. P: 891-8.

- Mettler, S. Abdelmoula, M. Hoehn, E. 2001. Characterization of Iron and Manganese Precipitates from an In Situ Ground Water Treatment Plan. *Journal of Ground Water*. Wilson Company. USA. P: 921-30.
- Mubiru, DN. Coyne, MS. Grove, JH. 2000. Mortality of Escherichia coli O 157:H7 In two Soils with Different Physical and Chemical Properties. *Journal of Environmental Quality*. Vol.29. USA. P: 1821-5.
- Said, Nusa Idaman. 1999. Kesehatan Masyarakat dan Teknologi Pengolahan Air. Jakarta: BPPT.
- Sanropie, Djasio, Dkk. 1984. *Buku Pedoman Study Penyediaan Air Bersih*. Akademi Penilik Kesehatan- Teknologi Sanitasi. Jakarta: Pusdiknakes.
- Santosa Singgih. 2000. SPSS Mengolah Data Statistik Secara Profesional. Versi 7,5. Jakarta: Gramedia.
- Sugiharto. 1997. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Sukandarrumidi. 1995. *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Sutrisno, Toto dan Eni Sucianstuti. 1991. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Bina Aksara.
- Totok Sutrisno.dan Suci Astuti. 1987. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Bhineka Cipta.
- Unus Suriawiria. 1996. *Air Dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Bandung: Alumni.