

IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH PADA KUALITAS AIR PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM (PDAM) KABUPATEN WONOGIRI

Abdullah Isnaini*, Sarto**, Agus Suwarni***

* Dinas Kesehatan Kabupaten Wonogiri, Jl. Ahmad Yani No.44, Wonogiri
email: isnaini.ab@gmail.com

** Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*** JKL Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Jl. Tatabumi 3, Banyuraden, Gamping, Sleman, DIY 55293

Abstract

PDAM is a local-owned institution that has the function of providing clean water services for community. The company need to carry out monitoring on the quality of the water produced, either physically, bacteriologically and chemically. Good water quality positively affect the health of the users. This study was aimed to identify the factors affecting the quality of water produced by the PDAM of Wonogiri Regency, by conducting an observational study with cross sectional design. There were 16 water samples for raw water and treated water examination, and 48 water samples for house-connection water examination, i.e. consisted of 16 samples for each distance category of customers' houses of near, moderate, and far, related to water reservoirs. The examinations were held on-site as well as at the health laboratory of the Health Office. The data analyses were using Mann-Whitney and one-way-anova tests to determine the differences of water quality and Spearman-rho test to determine all relationships. All tests used significance level (α) of 0,05. The results show that: 1) in terms of bacteriological quality, by using Coliform as indicator, the differences between raw-water and treated-water, as well as between treated-water and house-connection water are statistically significant, 2) in terms of chemical quality, by using iron concentration and total hardness as indicators, the differences among raw-water, treated water, and house-connection water are not statically significant, 3) the distance of customers' houses were not found correlated, either with Coliform and total hardness; however, correlations were identified between the distance of customers' houses and iron concentration, between the distance of customers' houses and residual chlorine, and between residual chlorine and coliform. Not all water sample has fulfilled the bacteriological standard; however for chemical standards, either the raw-water, terated water and house-connevtion water, have met the standards.

Keywords : water quality, raw water, treated water, house connection water

Intisari

PDAM adalah institusi milik daerah yang mempunyai fungsi menyelenggarakan pelayanan air bersih bagi masyarakat, dan perlu melaksanakan pengawasan terhadap kualitas air yang dihasilkan, baik secara fisik, bakteriologis dan kimiawi. Kualitas air yang baik dapat berdampak baik pula bagi kesehatan penggunanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air PDAM Kabupaten Wonogiri, dengan melakukan studi observasional dengan rancangan cross sectional. Ada masing-masing 16 sampel air untuk pemeriksaan air baku dan hasil olahan, dan 48 sampel untuk pemeriksaan air sambungan rumah, yaitu masing-masing 16 sampel untuk kategori jarak rumah pelanggan dekat, sedang dan jauh, dari reservoir. Pemeriksaan dilakukan di lapangan dan di laboratorium kesehatan milik Dinas Kesehatan.. Analisis data menggunakan uji Mann-Whitney dan one-way-anova untuk mengetahui perbedaan dari kualitas air yang diperiksa dan uji Spearman-rho untuk uji korelasi. Uji-uji tersebut menggunakan taraf signifikansi (α) 0,05. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa: 1) kualitas bakteriologis dengan menggunakan indikator MPN Coliform, antara air baku dan air olahan, serta antara air olahan dan air di sambungan rumah pelanggan, ditemukan adanya perbedaan yang signifikan, 2) kualitas kimiawi dengan menggunakan indikator kadar besi dan kesadahan total, antara air baku, air olahan maupun air di sambungan rumah tidak ditemukan adanya perbedaan yang signifikan, 3) antara jarak rumah pelanggan dengan Coliform dan kesadahan total, tidak ditemukan hubungan yang signifikan; sementara itu, antara jarak rumah pelanggan dengan kadar besi, antara jarak rumah pelanggan dengan sisa klor, dan antara sisa klor dengan Coliform, ditemukan hubungan yang signifikan. Kualitas air secara bakteriologis belum semuanya memenuhi standar, tetapi kualitas air secara kimiawi telah sesuai dengan baku mutu, baik untuk air baku, air olahan maupun air sambungan rumah pelanggan.

Kata Kunci : kualitas air, air baku, air olahan, air sambungan rumah

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk hidup manusia, bahkan hampir 70 % tubuh manusia berupa air. Jika tubuh tidak cukup mendapatkan air atau kehilangan air sebesar 5% dari berat badan (pada anak besar atau orang dewasa), maka keadaan ini telah membahayakan kehidupan orang tersebut ¹⁾.

Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum bertujuan agar air minum yang dikonsumsi masyarakat tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Pengawasan kualitas air minum dilaksanakan dengan melakukan pemeriksaan kualitas yang terdiri dari parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan dan parameter-parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan.

Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan terdiri dari parameter mikrobiologi dan kimia anorganik, sementara untuk parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan terdiri dari parameter fisik dan kimia ²⁾.

Bakteri *Coliform* merupakan mikroorganisme yang paling umum digunakan sebagai indikator sanitasi lingkungan. Bakteri *Coliform* adalah kelompok bakteri gram negatif berbentuk batang, dan mampu membentuk gas dalam waktu 24-48 jam pada suhu 37-44,5 °C ³⁾.

Permenkes RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 di atas menyatakan bahwa dalam 100 ml sampel air minum yang diperiksa tidak boleh mengandung bakteri *Coliform* dan *Esherichia coli*, dan jumlah bakteri dalam air yang diperiksa harus 0/100 ml sampel.

Hasil pemeriksaan kualitas air oleh Dinas Kesehatan Kabupaten (DKK) Wonogiri untuk jenis sarana air minum atau Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) selama empat tahun terakhir belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Permenkes RI tersebut.

Dari hasil pemeriksaan kualitas air secara bakteriologis pada sarana sam-

bugan rumah penduduk pada tahun 2011, diketahui 52,29 % tidak memenuhi standar; pada tahun 2012, 60,63 % tidak memenuhi standar; pada tahun 2013, 59,17 % tidak memenuhi standar; dan pada tahun 2014, 60,30 % tidak memenuhi standar.

METODA

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian observasional dengan menggunakan rancangan *cross sectional*. Rancangan ini dipilih karena pengukuran terhadap variabel bebas dan variabel terikat dilakukan pada saat yang hampir bersamaan, dan kemudian dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang diduga berhubungan ⁴⁾.

Obyek penelitian adalah 16 buah PDAM di Kabupaten Wonogiri. Sampel air diambil secara *purposive sampling* pada air baku, air hasil olahan, dan air sambungan rumah pelanggan PDAM. Jumlah sampel pada air baku dan air olahan di serservoir, masing-masing sebanyak 16 buah, sementara untuk air di sambungan rumah pelanggan ada 48 buah. Untuk sampel air dari sambungan pelanggan tersebut, dikelompokkan atas dasar jaraknya dari reservoir, yaitu dekat, sedang, dan jauh. Masing-masing sebanyak 16 buah.

Penelitian ini meliputi kualitas bakteriologis (*Coliform*) dan kimiawi (besi/Fe dan kesadahan total). Pengujian parameter dilakukan di lapangan dan di UPT Laboratorium Kesehatan DKK Wonogiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Baku PDAM

PDAM Kabupaten Wonogiri sampai saat ini memanfaatkan tiga buah sumber air baku, yaitu dari air sungai yang berasal dari Waduk Gajah Mungkur, mata air yang terdapat di wilayah pegunungan, dan sumur dalam yang dibuat untuk menambahkan sumber air untuk mencukupi kebutuhan pelanggan.

Air sungai yang berasal dari Waduk Gajah Mungkur digunakan sebagai sum-

ber air baku bagi 18,75 % atau tiga buah instalasi PDAM yang terletak di sekitar waduk tersebut. Air baku yang berasal dari air permukaan membutuhkan biaya produksi yang besar, karena menggunakan sistem pengolahan lengkap.

Sistem pengolahan yang lengkap tersebut bertujuan untuk menjernihkan air, mengurangi kandungan kimia dan membunuh kuman patogen di air baku. Sebagaimana diketahui, air sungai kualitasnya kurang baik karena banyak mendapat pencemaran, baik dari industri, masyarakat, maupun berupa limpasan air hujan dari jalanan, serta dari kegiatan pertanian, dan lain-lain.

Tabel 1.
Hasil pemeriksaan kualitas air baku pada sumber air PDAM Kabupaten Wonogiri 2015

PDAM	Sumber air	Coliform	Fe	Kesadahan	IS	Kualitas air	
						Bakteri	Kimia
A	MA	240	0,02	69,65	30	MS	MS
B	MA	3	0,03	49,75	30	MS	MS
C	MA	9	0,03	169,15	32,2	MS	MS
D	C	15	0,03	49,75	31,6	MS	MS
E	C	150	0,02	115,77	10	TMS	MS
F	AS	2000	0,02	197,01	50	TMS	MS
G	SD	20	0,03	187,06	36,4	MS	MS
H	MA	93	0,01	298,5	40	TMS	MS
I	C	38	0,02	102,76	32,2	MS	MS
J	C	94	0,01	230,34	32,2	TMS	MS
K	MA	43	0,01	137,31	36,4	MS	MS
L	SD	150	0,01	216,91	22,2	TMS	MS
M	AS	3500	0,01	231,34	37,5	TMS	MS
N	C	95	0,02	41,58	37,5	TMS	MS
O	AS	4000	0,01	84,15	37,5	TMS	MS
P	C	95	0,01	70,65	37,5	TMS	MS

Keterangan:

MA : Mata air

AS : Air sungai

SD : Sumur dalam

C : Campuran antara mata air dan sumur dalam

MS : Memenuhi syarat

TMS : Tidak memenuhi syarat

Sementara itu, penggunaan mata air tidak hanya dilakukan oleh warga masyarakat di sekitar sumber mata air, tapi

juga dijadikan bahan baku air minum oleh PDAM. Namun demikian, penggunaan mata air oleh PDAM ini bukannya tidak memiliki risiko atau dampak terhadap lingkungan.

Dampak yang kemungkinan akan timbul dalam penggunaan jangka panjang adalah berkurangnya debit sumber mata air, yang berpotensi pada terjadinya kekeringan atau matinya sumber mata air yang digunakan.

Berdasarkan hasil penelitian sumber air baku yang berasal dari mata air pada Tabel 1, terlihat bahwa kualitas fisik dan kimia sudah memenuhi standar sehingga dalam melakukan pengolahan tidak begitu membutuhkan biaya yang besar. Pengolahan yang dilakukan hanya berupa klorinasi. Namun demikian, secara kuantitas, jumlah debit dari mata air belum bisa mencukupi.

Air tanah yang digunakan sebagai air baku, yang paling banyak adalah yang berasal dari sumur dalam. Sumur dalam ini hampir ada di seluruh PDAM di Kabupaten Wonogiri. Air baku yang berasal dari sumur dalam, karena debitnya yang kecil, berfungsi hanya sebagai tambahan bagi air baku yang sudah ada. Air baku yang ada tersebut paling banyak berasal dari campuran antara air dari sumur dalam dan mata air maupun air sungai.

Berdasarkan hasil penelitian, air baku dari sumur dalam digunakan oleh 12,5 % atau dua unit PDAM. Adapun prosentase PDAM yang menggunakan campuran mata air dan sumur dalam adalah sebanyak 37,5 %. Air campuran mata air dan sumur dalam sangat efektif dalam pemenuhan kebutuhan air para pelanggan. Ada enam unit PDAM yang menggunakan air campuran tersebut sebagai sumber air baku. Kualitas fisik dan kimia air baku yang digunakan sudah sesuai dengan standar yang berlaku.

Kualitas air harus terjaga, baik secara bakteriologis maupun kimiawi. Penyakit yang berhubungan dengan air seperti kolera, diare dan penyakit infeksi saluran pencernaan lainnya akan timbul jika pengelolaan air bersih tidak terjaga. Kualitas bakteriologis air baku PDAM

yang tidak memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dan Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/1990 ada sebanyak 62,5 %, sementara yang memenuhi standar sebesar 37,5 %.

Kandungan bakteri *Coliform* yang terbesar berasal dari sumber air sungai. Hal tersebut karena air sungai mudah tercemar oleh bakteri yang berasal dari limbah industri, limbah rumah tangga dan limpasan air hujan. Kualitas air secara bakteriologis yang paling baik berasal dari mata air dan sumur dalam karena masih berada di dalam lapisan tanah, sehingga jauh dari sumber pencemar; dan sumur dalam yang kondisinya baik sehingga bahan pencemar tidak bisa masuk.

Untuk kandungan besi (Fe), sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1, terlihat bahwa berdasarkan hasil pengukuran terhadap air baku dari 16 titik dengan sumber air yang berbeda, terdeteksi kandungan terendah sebesar 0,01 mg/l dan tertinggi 0,03 mg/l. Ini berarti bahwa kandungan besi dalam air baku PDAM Wonogiri masih di bawah standar yang diatur oleh Permenkes Nomor 416/Menkes/Per/IX/1990 yaitu 1,0 mg/l.

Kandungan besi (Fe) perlu diwaspadai karena kandungan yang tinggi akan menimbulkan rasa tidak enak, dapat menimbulkan noda-noda pada peralatan yang berwarna putih, dan akan menimbulkan bau amis dan warna kekuning-kuningan pada air.

Hasil pemeriksaan kesadahan total terhadap 16 sampel air baku masih di bawah standar Permenkes No 416/Menkes/Per/IX/1990, walaupun ada kecenderungan tinggi pada beberapa lokasi PDAM. Kesadahan dapat menyebabkan pengendapan pada dinding pipa. Kesadahan tinggi sebenarnya tidak menyebabkan masalah bagi kesehatan, tetapi kesadahan dapat menyebabkan penggunaan sabun pembersih menjadi tidak efektif karena sulit berbuih.

Kesadahan yang berlebihan juga dapat menimbulkan lapisan kerak pada peralatan dapur yang terbuat dari logam, sehingga dapat memungkinkan bagi ter-

jadinya ledakan pada *boiler* dan terjadinya penyumbatan pada pipa, serta sayuran akan menjadi keras jika dicuci dengan air tersebut⁵⁾.

Dari hasil pengamatan pada sumber air baku di PDAM Kabupaten Wonogiri tersebut, diketahui bahwa tingkat risiko kualitas fisik pada sumber mata air dan sumur dalam berada pada kategori baik. Sedangkan untuk air sungai Waduk Gajah Mungkur, terlihat terlalu keruh dan berwarna coklat muda. Berdasarkan pada Permenkes RI Nomor 436/Menkes/Per/VI/2010, sumber air baku yang termasuk dalam tingkat risiko rendah sebesar 12,5 %, sementara yang 87,5 % termasuk ke dalam tingkat risiko sedang.

Kualitas Air Hasil Olahan di Reservoir PDAM

Kualitas air olahan diambil dari 16 sampel reservoir. Parameter yang diperiksa terdiri dari *Coliform*, Fe, kesadahan total dan sisa klor. Risiko pencemaran diukur dengan melakukan inspeksi sanitasi di sarana air PDAM tersebut. Hasilnya seperti tersaji dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2.
Distribusi frekuensi kualitas air olahan
PDAM Kabupaten Wonogiri

Variabel	X	SD	Med	Min	Maks
<i>Coliform</i>	11,18	16,338	0	0	38
Besi (Fe)	0,0212	0,0072	0,02	0,01	0,04
Kesadahan	146,34	94,58	111,12	40,59	300,49
Risiko Pencemaran	25,78	8,594	34,3	12,5	37,5
Sisa Klor	0,2	0,169	0,2	0,0	0,5

Keterangan:
X : Rata-rata
SD : Standar deviasi

Keberadaan bakteri *Coliform* sering digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran, karena bakteri tersebut semula hidup di usus manusia atau binatang yang berdarah panas. Sebagaimana diketahui bahwa di dalam usus juga banyak terdapat kuman patogen, sehingga keberadaan *Coliform* di dalam air dapat menjadi indikasi bahwa telah terjadi

pencemaran oleh tinja, yang mungkin berasal dari air baku, saat pengolahan atau pada saat penyimpanan⁶⁾.

Dari hasil pengukuran jumlah bakteri *Coliform* di air reservoir PDAM Kabupaten Wonogiri yang telah diolah, diperoleh nilai MPN *Coliform* bervariasi antara 0/100 ml hingga 38/100 ml, dimana sesuai dengan Permenkes No 492/Menkes/Per/IV/2010 di atas, standar untuk *Coliform* harus negatif atau nol. Dari hasil penelitian ini diketahui ada 37,5 % yang belum sesuai dengan standar.

Coliform di air olahan PDAM sudah mengalami penurunan yang cukup baik dibandingkan dengan air baku yang ada, tetapi belum maksimal. Instalasi pengolahan air, atau IPA, yang air bakunya berasal dari air sungai mengalami penurunan yang sangat signifikan, sehingga sebanyak 66,6 % telah sesuai standar.

Sementara itu, untuk air baku yang berasal dari mata air dan sumur dalam, pada dasarnya kualitas fisiknya sudah sesuai dengan standar, tetapi untuk *Coliform*, masih ada 38,5 % belum sesuai. Berdasarkan hasil pengamatan, hal ini disebabkan karena pada proses disinfeksi kaporit yang diberikan oleh petugas PDAM belum sesuai dengan kebutuhan setiap harinya. Sisa klor aktif di dalam air olahan di reservoir seharusnya 1 mg/l, tetapi kenyataannya yang terukur kurang dari angka tersebut sehingga masih ditemukan adanya bakteri *Coliform*.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa kandungan besi (Fe) pada air olahan di reservoir PDAM yang terendah adalah sebesar 0,01 mg/l dan yang tertinggi adalah 0,04 mg/l dengan rata-rata 0,021 mg/l. Standar baku mutu menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 untuk parameter besi (Fe), kadar maksimal yang diperbolehkan adalah 0,3 mg/l. Ini artinya untuk parameter Fe, air olahan di reservoir PDAM sudah memenuhi standar yang ditetapkan.

Pada pengolahan air secara aerasi yang selama ini diketahui, endapan Fe yang terbentuk ada yang dibiarkan mengendap secara alamiah dan ada yang dibantu dengan penambahan bahan kimia. Dari penelitian tentang aerasi dan

pengendapan kadar besi (Fe), diketahui bahwa apabila endapan besi (Fe) tersebut diolah lagi dengan aerasi dan sedimentasi akan dapat terbantu penurunannya sehingga akan diperoleh hasil pengolahan air yang maksimal⁷⁾.

Kandungan kesadahan total dalam sampel yang diperiksa pada air olahan di reservoir PDAM didapat hasil yang bervariasi antara 41,79 mg/l sampai dengan 300,49 mg/l. Standar baku mutu air minum menurut Permenkes RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 untuk parameter kesadahan total, kadar maksimal yang diperbolehkan adalah 500 mg/l. Dengan demikian, kesadahan total air hasil olahan tersebut sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Pengolahan air di PDAM Wonogiri menggunakan dua sistem, yaitu secara lengkap atau *full treatment* yang sering disebut sebagai instalasi pengolahan air dan pengolahan sebagian yang disebut dengan unit. Pengolahan lengkap dilakukan pada air baku yang berasal dari air permukaan (air sungai), sedangkan pengolahan sebagian dilakukan pada air baku yang berasal dari air tanah (mata air dan sumur dalam).

Penggunaan disinfektan di PDAM Kabupaten Wonogiri, terutama kaporit, pada bulan Mei 2015 yang terendah tercatat sebanyak 5 kg dan yang tertinggi mencapai 180 kg dengan rata-rata sebanyak 20,56 kg. Adapun sisa klor pada air olahan di reservoir, yang terendah sebesar 0,0 mg/l dan yang tertinggi sebesar 0,5 mg/l. Berdasarkan Permenkes Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010, sisa klor yang dianjurkan ada pada reservoir adalah 1,0 mg/l. Ini berarti bahwa sisa klor air olahan di reservoir PDAM Wonogiri masih kurang dari standar yang ditetapkan.

Dari hasil pengamatan pada sumber air olahan di reservoir PDAM Kabupaten Wonogiri, diketahui bahwa tingkat risiko kualitas fisik di reservoir tersebut adalah baik. Berdasarkan Permenkes RI Nomor 736/Menkes/Per/VI/2010, air reservoir yang memiliki tingkat risiko rendah sebanyak 87,5 % dan 12,5 % sisanya memiliki tingkat risiko sedang.

Risiko pencemaran berasal dari adanya beberapa reservoir yang terbuka, sehingga binatang dan kotoran dapat masuk ke dalam, pipa dari filter ke reservoir ada sedikit kebocoran dan juga ditemukan adanya perindukan semut serta ada proses klorinasi yang tidak berjalan sesuai dengan prosedur.

Kualitas Air di Sambungan Rumah Pelanggan PDAM

Untuk pemeriksaan kualitas air pada sambungan pelanggan PDAM, diambil sampel rumah berdasarkan jarak dari reservoir, yaitu dekat atau SR1, sedang atau SR2, dan jauh atau SR3. Untuk masing-masing jarak tersebut diambil 16 sampel, sehingga keseluruhan jumlah sampel dari sambungan pelanggan ada 48 buah, dengan hasil pemeriksaan sebagaimana dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3.
Distribusi frekuensi kualitas air di sambungan rumah

Variabel	X	SD	Med	Min	Maks
<i>Coliform</i>	68,871	88,501	29,5	0	240
Besi (Fe)	0,0196	0,0089	0,02	0,01	0,05
Kesadahan	154,108	83,699	139,3	41,79	378,1
Risiko Pencemaran	30,62	10,398	40	10	40
Jarak	2353,71	2528,68	1465,5	13	10155
Sisa Klor	0,0312	0,0561	0,0	0,0	0,2

Pengukuran jumlah bakteri *Coliform* pada sambungan rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri memperoleh hasil yang bervariasi antara 0 koloni/100 ml hingga 240 koloni/100 ml. Sesuai Permenkes RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010, disebutkan bahwa di dalam 100 ml sampel air tidak boleh terdapat bakteri (0 koloni/100 ml). Oleh karena itu, dari hasil pemeriksaan *Coliform* di atas terdapat 16,7 % yang sudah memenuhi standar dan sebagian besar atau 83,3 % belum sesuai standar.

Dari hasil pengujian kandungan besi (Fe) pada sambungan rumah pelanggan PDAM tersebut juga diketahui bahwa

yang terendah 0,01 mg/l dan tertinggi mencapai 0,05 mg/l. Standar menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 untuk parameter tersebut, kadar maksimal yang diperbolehkan adalah 0,3 mg/l. Ini berarti, untuk parameter besi, kualitas air pada sambungan rumah pelanggan sudah memenuhi standar.

Kadar besi pada air di sambungan rumah kemudian dibedakan lagi analisisnya berdasarkan jarak dari reservoir. Kandungan besi pada rumah yang jaraknya dekat (SR1), konsentrasi terendah sebesar 0,01 mg/l dan tertinggi sebesar 0,03 mg/l. Kandungan besi pada jarak pelanggan sedang (SR2), konsentrasi yang terendah 0,02 mg/l dan tertinggi mencapai 0,03 mg/l. Adapun untuk kandungan besi pada air di sambungan rumah yang jaraknya jauh dari reservoir (SR3), konsentrasi paling rendah 0,01 mg/l dan tertinggi sebesar 0,05 mg/l. Ini berarti, semakin jauh jarak rumah dengan reservoir, maka kadar besi akan semakin besar. Hal ini mungkin disebabkan karena ada unsur Fe dari pipa besi yang terlarut ke dalam air yang disalurkan.

Hasil pengujian parameter kesadahan total dari sambungan rumah pelanggan PDAM didapat yang terendah adalah 41,79 mg/l, dan tertinggi mencapai 378,1 mg/l. Standar menurut Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010, untuk parameter ini, maksimal yang diperbolehkan adalah 500 mg/l. Ini artinya untuk parameter tersebut, kualitas air sambungan rumah pelanggan masih memenuhi standar yang ditetapkan.

Berdasarkan pada tingkat kesadahanannya, dapat diketahui bahwa pelanggan dengan tingkat kesadahan lunak sebanyak 22,92 %, tingkat kesadahan sedang ada 31,25 %, tingkat kesadahan tinggi ada 43,75 %, dan tingkat kesadahan tinggi sekali ada 2,08 %.

Hasil pengamatan terhadap sarana sambungan rumah menunjukkan bahwa nilai skor risiko rendah dan skor risiko tertinggi masing-masing sebesar 10 % dan 40 %, dengan rerata sebesar 30,62 %, sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 3.

Dari inspeksi sanitasi pada sambungan rumah pelanggan sebagaimana di atas, diperoleh hasil bahwa risiko pencemaran rendah dimiliki oleh 54,37 % pelanggan, dan risiko pencemaran sedang dimiliki oleh 45,63 %. Risiko pencemaran rendah terdapat pada sambungan rumah yang jaraknya dekat dengan reservoir (SR1), sedangkan risiko pencemaran sedang terdapat pada pelanggan dengan jarak sedang (SR2) dan jarak jauh (SR3) dari reservoir.

Kriteria yang digunakan untuk menilai risiko pencemaran pada sambungan rumah adalah berdasarkan pada kondisi pipa dan kran, serta pengukuran pH dan sisa klor, dimana semakin jauh jarak rumah dari reservoir maka sisa klor akan semakin kecil.

Jarak sambungan rumah diukur dengan menggunakan GPS, dengan membuat koordinat-koordinat dari reservoir sert jarak sambungan yang paling dekat (SR1), sedang (SR2) dan paling jauh dari reservoir (SR3). Setelah diperoleh, titik-titik koordinat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software*, sehingga jarak antara tiap sambungan rumah dengan reservoir dapat diketahui.

Dari hasil pengukuran jarak dapat diketahui bahwa jarak terdekat sambungan rumah dengan reservoir adalah 13 m dan jarak terjauh adalah 10.155 m, dengan rata-rata 2.353,71 m. Penentuan jarak antara dekat, sedang dan jauh dari resevoir, berbeda antara PDAM yang satu dengan lainnya.

Hal ini disebabkan karena distribusi air PDAM ke sambungan rumah pelanggan juga berbeda. Untuk menentukan jarak, terlebih dahulu perlu diketahui berapa jarak rumah yang terjauh dari reservoir, baru kemudian ditentukan jaraknya. Jarak yang dekat diketahui dengan mengukur jarak sambungan rumah pelanggan yang terdekat dari reservoir.

Dari hasil pengukuran sisa klor yang diukur di lapangan dengan alat komparator klorin, didapatkan sisa klor terendah sebesar 0,00 mg/l dan tertinggi 0,30 mg/l. Sisa klor yang efektif untuk membunuh bakteri *Coliform* adalah pada konsentrasi 0,2 mg/l.

Hasil pengukuran sisa klor bebas di sambungan rumah pelanggan PDAM, mendapat idata bahwa 68,75 % sampel tidak mengandung sisa klor bebas dan 31,25 % sampel mengandung sisa klor dengan konsentrasi antara 0,05 hingga 0,2 mg/l. Untuk keamanan, sisa klor yang terkandung di dalam air minum, harus \pm 0,3 mg/l (0,2 -0,5 mg/l), atau minimal 0,2 mg/l.

Untuk menghindari terjadinya kontaminasi oleh bakteri patogen di dalam air maka dilakukan proses disinfeksi. Disinfeksi sendiri merupakan proses membunuh bakteri patogen yang ada di air minum. Proses disinfeksi air minum dilakukan dengan teknik klorinasi menggunakan gas klor atau kaporit⁸⁾.

Analisis Perbedaan Kualitas Air pada Air Baku, Air Olahan dan Air Sambungan Rumah PDAM Kabupaten Wonogiri

Untuk pengukuran *Coliform*, hasil uji dengan *Mann-Whitney* antara jumlah *Coliform* pada air baku yang digunakan oleh PDAM Kabupaten Wonogiri dan pada air hasil olahan, menghasilkan nilai $p = 0,0001$, dimana jika dibandingkan, nilai tersebut lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Hasil ini menunjukkan bahwa antara kedua jenis air tersebut, jumlah *Coliform* yang diukur berbeda secara bermakna.

Sesuai Permenkes RI Nomor 492 /Menkes/Per/IV/2010, baku mutu kadar *Coliform* untuk air olahan di reservoir adalah 0/100 ml atau tidak mengandung bakteri. Menurut Louisiana, air yang terkontaminasi oleh bakteri *Coliform* tidak selalu menyebabkan penyakit, tetapi secara umum semakin besar jumlah bakteri *Coliform* mengindikasikan semakin besar pula jumlah bakteri patogen lainnya. Bakteri-bakteri patogen tersebutlah yang kemudian dapat menyebabkan penyakit⁹⁾.

Untuk menguji jumlah *Coliform* antara yang terdapat di air olahan PDAM Kabupaten Wonogiri dengan yang terdapat di air sambungan rumah pelanggan, digunakan uji statistik *Kruskal-Wallis* karena salah satu data sebarannya tidak normal dan merupakan variabel tidak ber-

pasangan lebih dari dua kelompok. Hasil uji yang dilakukan menghasilkan nilai p sebesar 0,0069, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan $\alpha = 0,05$. Hal ini berarti bahwa jumlah *Coliform* pada air olahan berbeda secara signifikan dengan jumlah *Coliform* pada air yang diukur pada sambungan rumah pelanggan.

Berdasarkan hasil uji statistik di atas diketahui terdapat perbedaan kualitas air secara bakteriologis antara air hasil olahan dengan air pada sambungan rumah pelanggan PDAM. Jumlah bakteri *Coliform* pada sambungan rumah pelanggan berbeda berdasarkan jaraknya, baik dekat, sedang maupun jauh. Semakin jauh jarak sambungan rumah maka semakin besar jumlah bakteri *Coliformnya*.

Hasil penelitian menerangkan bahwa pada jarak dekat (SR1) kandungan *Coliform* yang tidak sesuai standar sebesar 62,5 %; untuk jarak sedang (SR2) sebesar 87,5 % belum sesuai standar, dan jarak jauh (SR3) dari reservoir sebesar 93,75 % belum sesuai standar. Perbedaan jumlah bakteri *Coliform* pada sambungan rumah pelanggan ini disebabkan oleh kandungan sisa klor. Hasil penelitian membuktikan bahwa sisa klor dari reservoir sampai ke sambungan rumah pelanggan berkurang secara signifikan sehingga fungsi klorinasi tidak berjalan efektif.

Untuk pengukuran kadar besi (Fe), hasil analisis statistik dengan *Mann-Whitney test* untuk menguji perbedaan antara air baku yang digunakan oleh PDAM Kabupaten Wonogiri dengan air hasil olahan, memperoleh nilai p sebesar 0,2601, yang jika dibandingkan dengan α maka lebih besar. Hal ini berarti bahwa kadar besi (Fe) pada air baku dan air hasil olahan tidak berbeda secara bermakna.

Pada air permukaan jarang ditemukan kadar besi (Fe) lebih besar dari 1 mg/l, tetapi di dalam air tanah kadar besi (Fe) tersebut dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi kadar besi (Fe) yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat meninggalkan noda pada kain serta perkakas

dapur. Pada air yang tidak mengandung oksigen (O_2) seperti seringkali ditemui pada air tanah, besi berada sebagai Fe^{+2} (ferro), yang bersifat larut, sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe^{+2} teroksidasi menjadi Fe^{+3} . Ion Fe^{3+} ini sulit larut pada pH 6 sampai 8 (kelarutan hanya di bawah beberapa $\mu\text{m/l}$), bahkan dapat menjadi ferihidroksida atau $Fe(OH)_3$ yang merupakan zat padat dan bisa mengendap. Demikian pula di dalam air sungai, besi berada sebagai Fe^{+2} dan Fe^{+3} terlarut dalam bentuk senyawa organik berupa koloid¹⁰⁾.

Analisis perbedaan kadar besi (Fe) pada air hasil olahan dengan air sambungan rumah pelanggan PDAM menggunakan uji *Kruskal-Wallis* karena salah satu data sebarannya tidak normal dan merupakan variabel tidak berpasangan lebih dari dua kelompok.

Uji tersebut memperoleh nilai $p = 0,0410$, yang lebih kecil dari α yang ditetapkan (0,05). Hal ini berarti bahwa kadar besi (Fe) pada air olahan berbeda signifikan dengan kadar besi (Fe) pada air sambungan rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri.

Hasil uji statistik *Mann-Whitney* untuk kadar besi (Fe) air hasil olahan dengan air sambungan rumah pelanggan, baik yang berjarak dekat (SR1), jarak sedang (SR2) dan jarak jauh (SR3) berturut-turut memperoleh nilai p sebesar 0,0138; 0,8307; dan 0,9307. Pada SR1, nilai p lebih kecil dari α yang artinya kadar besi (Fe) antara air olahan dan air di sambungan rumah pelanggan yang berjarak dekat berbeda secara bermakna. Sementara itu karena nilai-nilai p yang diperoleh lebih besar dari 0,05, kadar besi (Fe) antara air olahan PDAM dan air pada sambungan rumah pelanggan yang jaraknya sedang dan jauh dari reservoir, tidak berbeda secara bermakna.

Kadar besi (Fe) pada air olahan mengalami penurunan yang signifikan setelah sampai pada sambungan rumah pelanggan terdekat, tetapi berangsur-angsur naik kembali pada sambungan rumah yang jaraknya sedang dan jauh. Hal

ini disebabkan karena di reservoir udara bisa masuk ke sambungan rumah yang jaraknya dekat sehingga kadar besi (Fe) mengalami penurunan.

Adapun untuk sambungan rumah yang jaraknya semakin jauh, ada sambungan pipa dari besi yang kemungkinan berkarat yang menyebabkan terjadinya peningkatan kadar besi (Fe).

Menurut Said¹¹⁾, salah satu cara pengolahan air bersih untuk menghilangkan kadar Fe adalah dengan aerasi. Prinsip utama dari pengolahan ini adalah menambahkan udara/oksigen ke dalam air, sehingga akan terjadi reaksi ikatan kimia antara oksigen dengan senyawa Fe yang dapat membentuk endapan Fe (Ferri)¹¹⁾.

Pada pengolahan secara aerasi yang selama ini diketahui, endapan besi (Fe) yang terbentuk ada yang dibiarkan mengendap secara alamiah dan ada yang dilakukan dengan bantuan penambahan bahan kimia. Penelitian tentang aerasi dan pengendapan kadar Fe, menerangkan apabila endapan Fe tersebut diolah lagi akan bisa membantu menurunkan kadar Fe dalam pengolahan air secara aerasi dan sedimentasi⁷⁾.

Hasil analisis untuk menguji perbedaan antara kesadahan pada air baku dan air hasil olahan dengan menggunakan uji t sampel tidak berpasangan dengan varian sama, diperoleh nilai p sebesar 0,8571 yang berarti kesadahan total antara yang dikandung oleh air baku dan air hasil olahan PDAM tidak ada perbedaan yang signifikan

Dari 16 sampel yang diperiksa, kandungan kesadahan total pada air baku, mempunyai kadar yang bervariasi antara 41,58 mg/l sampai dengan 298 mg/l, dengan tingkat kesadahan lunak sebesar 31,25 %; kesadahan sedang sebesar 25 % dan kesadahan tinggi sebesar 43,75 %. Nilai kesadahan total pada air baku tersebut masih sesuai dengan standar baku mutu.

Pengujian kesadahan total pada air hasil olahan PDAM mendapatkan kadar yang bervariasi antara 41,79 mg/l sampai 300,49 mg/l, dengan tingkat kesadahan lunak dan tinggi sebesar 18,75 %,

dan kesadahan sedang sebesar 6,25 %. Nilai kesadahan total pada air hasil olahan PDAM tersebut masih sesuai dengan standar baku mutu. Menurut hasil uji statistik tidak ditemukan ada perbedaan yang bermakna antara kesadahan total yang dikandung oleh air baku dengan air hasil olahan PDAM.

Hasil uji *one way anova* terhadap perbedaan kesadahan total air olahan dengan air sambungan rumah pelanggan PDAM menghasilkan nilai p sebesar 0,956, yang lebih besar dari α 0,05. Ini berarti bahwa kesadahan total pada air olahan dengan air sambungan pada rumah pelanggan baik yang berjarak dekat, sedang maupun jauh dari reservoir tidak ditemukan perbedaan yang bermakna.

Dari hasil uji *Bonferroni* nilai p yang diperoleh pada kesadahan total antara air hasil olahan dan air sambungan rumah pelanggan yang jaraknya dekat, sedang dan jauh dari reservoir adalah 1,000, atau lebih besar dari 0,05), yang berarti bahwa tidak terdapat perbedaan kesadahan total yang signifikan antara yang ditemukan pada air olahan dan pada air sambungan rumah pelanggan untuk semua jarak dengan reservoir.

Kesadahan total pada air sambungan rumah pelanggan PDAM bervariasi antara 41,79 mg/l hingga 300,49 mg/l. Berdasarkan tingkatannya, pelanggan dengan kesadahan lunak dan kesadahan tinggi sebanyak 37,5 %; kesadahan sedang sebanyak 18,75 % dan kesadahan tinggi sekali sebanyak 6,25 %.

Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Penyebab air menjadi sadah adalah karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} . Atau dapat juga disebabkan karena adanya ion-ion dari *polyvalent* metal atau logam bervalensi banyak seperti Al, Fe, Sr, Mn, dan Zn dalam bentuk garam sulfat dan bikarbonat.

Hubungan Variabel Jarak dan Sisa Klor pada Kualitas Air Sambungan Rumah Pelanggan PDAM

Hasil uji *Spearman-rho* untuk mengetahui hubungan antara jarak rumah

pelanggan dan jumlah *Coliform* diperoleh nilai p sebesar 0,3623 dan koefisien r sebesar 0,1344. Karena nilai p tersebut lebih besar dari 0,05, maka berarti antara jarak rumah dengan reservoir dan jumlah *Coliform* di air sambungan rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri, tidak ditemukan adanya hubungan.

Tabel 4.
Hasil analisis korelasi
antara variabel jarak dan sisa klor
dengan kualitas air di sambungan rumah pelanggan

Variabel	Koefisien r	Nilai p
Jarak & <i>Coliform</i>	0,1344	0,3623
Jarak & Besi (Fe)	0,2879	0,0472
Jarak & Kesadahan total	-0,0802	0,5881
Jarak & Sisa klor	-0,5646	<0,0001
Sisa klor & <i>Coliform</i>	-0,5480	<0,0001

Menurut Sukoso¹²⁾, bakteri *Coliform* dipengaruhi oleh jumlah sisa klor pada air sambungan rumah tetapi tidak berpengaruh dengan jarak sambungan rumah pelanggan PDAM dengan reservoirnya. Jarak yang jauh belum tentu menghasilkan kualitas bakteriologi yang buruk, begitu juga sebaliknya.

Hasil uji *Spearman-rho* untuk mengetahui hubungan antara jarak rumah dan kadar besi (Fe) diperoleh nilai p sebesar 0,0472; lebih kecil dari 0,05, sehingga secara statistik berarti antara jarak rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri dengan reservoir dan kadar besi (Fe) di air sambungan rumah ada hubungan yang bermakna. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,2879. Secara statistik berarti kekuatan hubungan tersebut bersifat lemah dengan arah positif.

Jarak sambungan rumah pelanggan PDAM dapat mempengaruhi kandungan besi (Fe). Hal itu dimungkinkan untuk terjadi jika ada proses aerasi di dalam pipa atau pralon pada jaringan distribusi. Pada pengolahan secara aerasi yang selama ini diketahui, endapan besi (Fe) yang terbentuk ada yang dibiarkan mengendap secara alamiah dan ada yang

dilakukan dengan bantuan penambahan bahan kimia. Penelitian tentang aerasi dan pengendapan kadar besi (Fe), menemukan apabila endapan tersebut diolah lagi akan bisa membantu menurunkan kadar besi (Fe) dalam pengolahan air secara aerasi dan sedimentasi, sehingga akan didapatkan hasil pengolahan air yang maksimal.

Salah satu cara pengolahan endapan Fe tersebut adalah dengan menggunakan media magnet, dimana magnet memiliki gaya tarik menarik atau gaya tolak menolak terhadap ion yang bersifat sama atau berlawanan.

Hasil uji *Spearman-rho* untuk mengetahui hubungan antara jarak rumah pelanggan dan kadar kesadahan total menghasilkan nilai p sebesar 0,5881 dan koefisien r sebesar -0,0802. Karena nilai p tersebut lebih besar dari 0,05, maka berarti antara jarak rumah pelanggan dengan reservoir dan kadar kesadahan total pada air di sambungan rumah tidak ditemukan adanya hubungan.

Air sadah kurang baik apabila digunakan untuk mencuci dengan memakai sabun ($\text{NaC}_{17}\text{H}_{35}\text{COO}$). Hal ini disebabkan karena ion Ca^{2+} atau Mg^{2+} dalam air sadah dapat mengendapkan sabun sehingga membentuk endapan berminyak yang terapung di permukaan air. Dengan demikian, sabun hanya sedikit membuih sehingga daya pembersihnya akan berkurang.

Hasil uji *Spearman-rho* untuk mengetahui hubungan antara jarak rumah pelanggan dengan reservoir dan sisa klor, diperoleh nilai p lebih kecil dari 0,0001 atau lebih kecil dari α . Ini berarti bahwa antara jarak rumah pelanggan dengan reservoir dan sisa klor pada air di sambungan rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri ada hubungan yang signifikan. Adapun nilai koefisien korelasi yang sebesar -0,5646, secara statistik menunjukkan bahwa kekuatan korelasi tersebut bersifat sedang dengan arah negatif.

Hasil penelitian Azwardi, menemukan ada hubungan antara jarak dan usia perpipaan dengan sisa klor dan koliform air produksi PDAM di Kecamatan Pon-

dok Kelapa Kabupaten Bengkulu Utara. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin jauh jarak rumah pelanggan dengan pengolahan PDAM maka sisa klor akan semakin kecil.

Klorinasi merupakan salah satu bentuk pengolahan air yang bertujuan untuk membunuh kuman dan mengoksidasi bahan-bahan kimia di dalam air. Klorinasi (*chlorination*) adalah proses pemberian klorin ke dalam air yang telah menjalani proses filtrasi dan merupakan langkah yang maju dalam proses purifikasi air. Bentuk-bentuk klorin di pasaran adalah: *liquid/gas* -Cl₂, kaporit Ca(OCl)₂ dan natriumhipoklorit NaOCl.

Hasil uji *Speraman-rho* untuk mengetahui hubungan antara sisa klor dan *Coliform* diperoleh nilai *p* lebih kecil dari 0,0001 atau lebih kecil dari α (0,05). Ini berarti antara sisa klor dan *Coliform* pada air sambungan rumah pelanggan PDAM Kabupaten Wonogiri, ada hubungan yang bermakna. Adapun nilai koefisien korelasi sebesar -0,5480, secara statistik menunjukkan bahwa kekuatan korelasi tersebut bersifat sedang dengan arah negatif.

Hasil penelitian di Kota Kinabalu Malaysia pada tahun 2007 untuk menjelaskan prinsip klorinasi dan sisa klor di dalam konten sistem distribusi air minum di Semenanjung Malaysia menemukan sisa klor kurang dari standar WHO, yaitu 0,2-0,3 mg/l dan jumlah kandungan bakteri *Coliform* melebihi ketentuan yang diatur oleh Asosiasi Water Malaysia. Oleh karena itu, maka diperlukan tambahan perawatan berupa perebusan dan penyaringan yang dilakukan sebelum air tersebut dikonsumsi¹³⁾.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: 1) kualitas air secara bakteriologis (*Coliform*) yang paling baik ditemukan pada air olahan di reservoir PDAM; 2) kualitas air secara kimia (besi dan kesadahan total) masih sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan; 3) ada perbedaan yang bermakna antara *MPN*

Coliform di air baku dan air olahan serta antara air olahan dengan air di sambungan rumah pelanggan; 4) ada hubungan yang bermakna antara kadar Fe di air olahan dan di air sambungan rumah.

Selain itu, penelitian ini juga menyimpulkan bahwa: 5) pada rumah pelanggan yang berjarak dekat dengan reservoir (SR1), ada hubungan antara kadar Fe pada air olahan dan kadar Fe pada air di sambungan rumah, dimana hubungan tersebut ditemukan pada rumah pelanggan yang berjarak sedang (SR2) dan berjarak jauh (SR3); 6) ada hubungan antara jarak rumah pelanggan dengan reservoir (SR1, SR2, SR3) dan sisa klor; 7) ada hubungan antara sisa klor dan *MPN Coliform*; dan 8) tidak ada hubungan antara jarak rumah pelanggan dengan reservoir (SR1, SR2, SR3) dan kualitas air secara bakteriologis dan kesadahan total.

SARAN

Pengawasan kualitas air PDAM Kabupaten Wonogiri harus dilakukan secara internal oleh pihak PDAM sendiri; dan eksternal oleh Dinas Kesehatan, yang berguna untuk kepentingan masyarakat pengguna PDAM. Hasil pengawasan kualitas air tersebut harus dilaporkan secara periodik ke Bupati.

PDAM Kabupaten Wonogiri disarankan untuk melakukan klorinasi secara tepat, dengan menghitung daya sergap air olahan di reservoir, serta menghitung dengan tepat kadar klor di dalam kaporit yang digunakan, dan tidak menggunakan kadar yang tertulis di label saja.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dieter, H. H., 2014. Related guide values for drinking-water since 1993 as guidance to assess presence of new analytes in drinking-water, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217 (2-3), hal. 117–132.
2. Anonim, 2010. *Permenkes RI No: 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*, Ke-

- menterian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
3. V. J. C. Bs, T. J. S. Ms, T. L. Bs, N. S. Bs, D. S. M. Bs, E. U. Bs, C. K. Bs, D. M. Bs, & J. H. Kavouras, 2014. Coliform bacteria, fabrics, and the environment, *American Journal of Infection Control*, hal.1–5.
 4. Sugiyono, 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*, cetakan XV, Alfabeta, Bandung.
 5. Sanropie, D., Sumini, A., Margono, Sugiharto, S., Purwanto, dan Ristati, B., 1984. *Penyediaan Air Bersih*, APK-TS, Depkes RI, Jakarta.
 6. Dewanti, R., 2010. Eshericha coli pada alat makan,” *J. Stand.*, 16 (2): hal. 113–124.
 7. Bastian, A. S., dan Moekarni, R., 2012. Penurunan kadar ion besi (Fe) dalam air bersih secara aerasi dan sedimentasi dengan menggunakan media Mmagnet, *Jurnal Teknik. WAKTU*, 9: hal. 28–33.
 8. Anonim, 2000. *Petunjuk Teknik Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum Perkotaan*. Ditjen Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
 9. Louisiana, 2009. *Esherichia coli (E. coli) Infections*, 2748: hal.1–10.
 10. Alaert, G., dan Santika, S., 1987. *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional, Surabaya.
 11. Said, N. I., 2005. Metoda penghilangan zat besi (Fe) dan mangan (Mn) di dalam penyediaan air minum domestik, *Jurnal Air Indonesia*. 1 (3).
 12. Sukoso, 2009. Hubungan Kuantitas dan Kualitas Air dengan Kejadian Diare dan Minat Pelanggan Air di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Bantul Yogyakarta, Thesis Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
 13. Suryawati, 2007. *Prinsip Klorinasi pada Sistem Distribusi Air Minum di Malaysia*. Medika Kesehatan, Jakarta.