

OP-026
KAJIAN KADAR SISA KLOR DI JARINGAN DISTRIBUSI
PENYEDIAAN AIR MINUM RAYON 8 PDAM KOTA PADANG

Reri Afrianita, Puti Sri Komala, Yose Andriani
Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas
e-mail: rerianita@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Desinfektan yang umum digunakan adalah senyawa yang mengandung klor karena stabil dan ekonomis. Sisa klor bertujuan untuk membunuh bakteri yang masuk selama pendistribusian air minum kepada masyarakat. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi pola penyebaran sisa klor serta pengaruh pH dan suhu di jaringan distribusi perpipaan air minum pada rayon 8 PDAM Kota Padang. Lokasi sampling ditentukan dengan teknik kluster sehingga terdapat 23 titik sampling. Lokasi tersebut diinput ke dalam surfer sehingga terbentuk peta isokonsentrasi sisa klor. Korelasi jarak, pH, dan suhu terhadap sisa klor dianalisis dengan program SPSS 16.0 dengan jarak, pH, dan suhu sebagai variabel bebas dan sisa klor sebagai variabel terikat. Nilai korelasi jarak dengan sisa klor 0,634 (kuat), pH dengan sisa klor 0,649 (kuat), dan suhu dengan sisa klor 0,520 (sedang). Kadar sisa klor menyebar di jaringan distribusi air minum dan menurun seiring semakin jauhnya jarak distribusi dari reservoir. Sebagian besar sisa klor di jaringan distribusi memenuhi baku mutu kecuali enam titik sampling (<0,2 mg/l) yang berkisar antara 0,142-0,195 mg/l. Faktor lain yang mempengaruhi kadar sisa klor yaitu jenis pipa, umur pipa, kondisi pipa yang rusak atau bocor, hidrolisa perpipaan, kondisi lingkungan disekitar pipa distribusi, dan interkoneksi jaringan distribusi.

Kata kunci: sisa klor, jaringan distribusi, jarak, pH, suhu, kondisi pipa, peta isokonsentrasi, interkoneksi

1. PENDAHULUAN

Air minum yang dikonsumsi masyarakat harus memenuhi parameter yang telah ditetapkan pemerintah yaitu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/Menkes/SK/IV/2010. Salah satu parameter yang ditetapkan dalam peraturan tersebut adalah parameter mikrobiologi dengan indikator kandungan bakteri *E. coli* dalam air minum sebanyak 0 per 100 ml sampel. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, air baku yang dijadikan sumber air minum dan belum memenuhi persyaratan harus melalui pengolahan terlebih dahulu. Proses pengolahan air minum sampai tahap filtrasi dapat mengurangi kandungan bakteri *E. coli*, tetapi belum dapat menghilangkan seluruh bakteri sehingga diperlukan desinfeksi. Desinfeksi merupakan penyempurnaan dalam pengolahan air minum berupa proses pemberian desinfektan yang bertujuan untuk untuk membunuh seluruh mikroorganisme patogen (Nurdjannah, 2005).

Desinfektan yang umum digunakan adalah senyawa yang mengandung klor karena stabil dan ekonomis. Sisa klor bertujuan untuk membunuh bakteri yang masuk selama pendistribusian air minum kepada masyarakat. Jika sisa klor dalam sistem distribusi air terlalu rendah, bakteri dapat berkembang dalam air dan mengakibatkan *waterborne diseases* pada masyarakat (Soemirat, 2002). Kadar sisa klor yang terlalu tinggi, akan menyebabkan bau kaporit yang tajam dan membahayakan kesehatan manusia jika dikonsumsi. Salah satu efek samping dari proses klorinasi adalah *Trihalomethane* (THM) yaitu produk sisa klorinasi yang bersifat karsinogenik (Garcia., dkk. 1997).

Banyak hal yang mempengaruhi kadar sisa klor di jaringan distribusi seperti sumber air, jarak, kondisi

pipa, dan kualitas air (Waluyo, 2009). Penelitian Putri (2012) di PDAM Nganjuk memperoleh bahwa kadar sisa klor akan habis pada jarak 8 km sedangkan penelitian Yani dan Roosmini (2008) di PDAM Jaya Jakarta memperoleh bahwa kadar sisa klor akan habis pada jarak 7 km. Oleh karena itu, perlu pengawasan yang tepat untuk menjamin kualitas air minum khususnya kadar sisa klor.

PDAM Kota Padang secara rutin melakukan pengawasan sisa klor. Dari hasil pemeriksaan tersebut, terdapat beberapa titik yang memiliki kadar sisa klor sebesar 0,1 mg/l. Kadar sisa klor di jaringan distribusi tersebut tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 736/Menkes/Per/VI/2010 yaitu maksimal 1 mg/l di *outlet* reservoir dan 0,2 mg/l pada titik terjauh distribusi. Pemeriksaan ini bersifat random dan tidak dilakukan di seluruh rayon pelayanan, sehingga belum ada data yang dapat menggambarkan kondisi sisa klor di seluruh jaringan penyediaan air minum.

Pada penelitian ini akan dievaluasi pola penyebaran sisa klor di jaringan distribusi perpipaan air minum pada rayon dengan pelanggan terbanyak yaitu rayon 8 dan melihat korelasi antara pH dan suhu terhadap sisa klor. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi penyebaran tersebut, sehingga bisa menjadi masukan bagi PDAM Kota Padang untuk peningkatan kualitas air yang didistribusikan ke pelanggan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Sampling

Lokasi sampling adalah wilayah otonomi pusat jaringan distribusi PDAM Kota Padang yaitu rayon 8.

Rayon 8 merupakan wilayah distribusi air PDAM Padang yang berasal dari reservoir IPA Gunung Pangilun dan berada paling dekat dengan IPA Gunung Pangilun. Wilayah ini meliputi sebagian Kecamatan Padang Utara dan Kecamatan Nanggalo. Selain itu, wilayah Rayon 8 merupakan wilayah pelayanan yang memiliki pelanggan terbanyak yaitu 10.305 pelanggan aktif dari 28.587 pelanggan di wilayah pusat atau sekitar 36% dari total pelanggan aktif wilayah pelayanan pusat. Lokasi sampling ditentukan dengan metode kluster yaitu membagi wilayah rayon 8 menjadi *grid-grid* dengan interval jarak 600 meter sehingga didapatkan titik sampling sebanyak 23 titik (Sugiarto, 2003). Lokasi sampling tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi Sampling

Titik	Lokasi
1	Jl. Kali Progo No. 17 Blok C, Kec. Nanggalo
2	Kampus STTP
3	Perumahan Depan Univ Bung Hatta
4	BKKBN
5	Jl. Jhoni Anwar, Gg. Buraq Dekat Kantor Pertambangan
6	Jl. Gajah Mada (Dekat Ateng Teknik)
7	Jl. Sawah Liat, Nanggalo (perum Mela Sentosa)
8	Jl. Buton (I)
9	Asratex, Jl. manado
10	Perumahan Bunga Mas Blok C
11	Jln. Gajah Mada Gg. Mela
12	Outlet Reservoir G. Pangilun
13	Tabing Kamp. Koto
14	Jl. Bahari
15	Jl. Pramuka
16	Jl. Pramuka 1
17	Jl. Gajah Mada
18	Komp. Dela Sentosa
19	Bandar Gadang
20	Jl. Marsawa/ Jl. Beringin
21	Jl. Pinus I/II
22	Jl. Gunung Sago II
23	Perum. Pesona Inanta

2.2 Waktu Sampling

Sampling dilakukan sebanyak dua kali pada waktu dua hari di lokasi sampling yang sama. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari yaitu sekitar pukul 08.30–10.00 WIB.

2.3 Sampling

Pengambilan sampel menggunakan botol steril sebanyak satu liter dan terbagi pada dua bagian tempat yaitu:

1. Di reservoir IPA Gunung Pangilun untuk uji karakterisasi. Sampel diambil secara *grab* dari dalam reservoir;
2. Di jaringan distribusi untuk pengukuran sisa klor, pH, dan suhu. Pengambilan sampel air di jaringan distribusi dilakukan langsung dari keran pelanggan PDAM. Keran dihidupkan beberapa

saat dan air dibiarkan mengalir. Setelah itu baru sampel diambil.

2.4 Analisis parameter

Pengukuran parameter dilakukan di lapangan dan laboratorium berdasarkan *Standard Methode* (APHA, 1992).

1. Uji lapangan
Pengukuran pH dan suhu dilakukan langsung di tempat sampling. pH diukur dengan pHmeter EUTECH dan pengukuran suhu dilakukan dengan termometer raksa LOTUS. Pengukuran harus segera dilakukan berdasarkan SNI 6989.57-2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
2. Uji laboratorium
Uji laboratorium yang dilakukan adalah karakterisasi fisika dan mikrobiologi sampel air dari reservoir IPA Gunung Pangilun dan pengukuran sisa klor. Pada setiap sampel dilakukan pengujian secara duplo (dua kali pengujian) untuk hasil yang lebih akurat. Kadar sisa klor diukur pada seluruh sampel dengan metode iodometri dan pengujian kandungan bakteri *E. coli* pada sampel yang dari reservoir dan titik dengan kadar sisa klor paling rendah. Uji yang dilakukan adalah uji MPN.

2.5 Pengaruh Jarak, pH, Suhu Terhadap Sisa Klor

Hubungan antar parameter dianalisis dengan uji korelasi dan uji regresi. Hubungan yang akan dilihat adalah pengaruh jarak, pH, dan suhu terhadap sisa klor. Sebelum melakukan uji regresi dan korelasi, dilakukan uji normalitas.

- a. Uji normalitas
Uji normalitas digunakan untuk melihat bahwa sampel yang diambil dalam penelitian ini mengikuti atau mendekati distribusi normal. Data yang diinput adalah data sisa klor, pH, dan suhu pada masing-masing titik sampling. Data yang terdistribusi normal adalah data yang memiliki nilai signifikansi besar dari 0,05. Pada penelitian ini metode uji normalitas data yang digunakan adalah *Shapiro-wilk* karena jumlah sampel kurang dari 50.
- b. Uji korelasi
Derajat hubungan antar variabel yang saling berpengaruh diketahui dengan menghitung koefisien korelasi (*r*). Uji korelasi yang digunakan pada SPSS adalah uji korelasi pearson. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan: *r* = koefisien korelasi
x = variabel bebas (jarak, pH, suhu)
y = variabel terikat (sisa klor)

Nilai korelasi yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antar parameter semakin erat.

c. Uji regresi

Persamaan yang digunakan dalam regresi linier adalah:

$$y' = a + bx \tag{2.2}$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x) - b(\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{2.3}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{2.4}$$

Keterangan: a = y intersepsi (nilai y' bila x = 0)
b = kemiringan dari garis regresi
x = variabel bebas, (jarak, pH, suhu)
y' = variabel terikat yaitu konsentrasi sisa klor (mg/l)

2.6 Kondisi Pipa di Jaringan Distribusi Rayon 8

Selain parameter jarak, pH, dan suhu, kondisi pipa di jaringan distribusi juga akan dievaluasi. Kondisi pipa yang akan dianalisis adalah jenis dan umur pipa serta lokasi sampling. Data ini diperoleh dari PDAM Kota Padang.

2.7 Pemodelan Sisa Klor dengan Program Surfer 8

Pemodelan kadar sisa klor di jaringan distribusi rayon 8 dibuat dengan bantuan program *Surfer* versi 8. Data yang diinputkan adalah peta yang diperoleh dari penentuan titik sampling, kadar sisa klor di seluruh titik sampling dan koordinat titik sampling. Hasil dari program *surfer* ini adalah peta isokonsentrasi yang berbentuk garis-garis kontur dimana satu garis kontur memiliki nilai sisa klor yang sama. Dari peta tersebut dianalisis pola penyebaran kadar sisa klor di jaringan distribusi dan dibandingkan dengan baku mutu.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Sampel Air di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Gunung Pangilun

Sumber air baku yang digunakan IPA Gunung Pangilun adalah air permukaan Sungai Batang Kuranji. Unit pengolahan di IPA Gunung Pangilun menggunakan pengolahan lengkap yaitu meliputi proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi. Desinfektan yang digunakan adalah kaporit dengan dosis 1,5-2 mg/l dengan waktu kontak selama 30 menit. Karakteristik air hasil pengolahan IPA Gunung Pangilun dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Air Reservoir IPA Gunung Pangilun

No	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu*
1	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau
2	Warna (TCU)	0,525	15
3	Total zat padat terlarut (mg/l)	50	500

No	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu*
4	Kekeruhan (NTU)	0,3	5
5	Suhu (°C)	27	Suhu udara ± 3
7	Besi (mg/l)	negatif	0,3
8	Kesadahan (mg/l)	83,5	500
9	Khlorida (mg/l)	10,5	250
10	Mangan (mg/l)	negatif	0,4
11	Sulfat (mg/l)	negatif	250
12	Tembaga (mg/l)	negatif	2
13	Amonia (mg/l)	negatif	1,5
14	Nitrat (mg/l)	negatif	50
15	Nitrit (mg/l)	0,2	3
16	pH	7,28	6,5-8,5
17	Sisa klor (mg/l)	0,479	0,2-1**
18	E. coli (sel/100 ml)	0	0

Keterangan:
*)Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum
**) Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Air Minum

Dari hasil pengukuran, parameter-parameter tersebut baik fisika, kimia, dan mikrobiologi telah memenuhi persyaratan untuk kualitas air minum. Kondisi ini mendukung proses desinfeksi dalam air karena air yang jernih akan menghambat perkembangbiakan bakteri yang mungkin ada dalam air (Soemirat, 2002). Pengujian bakteri *E. coli* dilakukan pada dua titik, yaitu reservoir (setelah desinfeksi), dan jaringan distribusi (daerah dengan sisa klor terendah). Jumlah bakteri *Escherichia coli* berdasarkan tabel MPN adalah 0 sel/100 ml yang berarti tidak ditemukan kandungan bakteri *Escherichia coli* dalam air.

3.2 Pola Penyebaran Sisa Klor

Nilai minimum sisa klor sebesar 0,142 mg/l dan nilai maksimum sisa klor sebesar 0,479 mg/l. Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum, nilai maksimal kadar sisa klor diuji pada *outlet* reservoir sebesar 1 mg/l dan minimal 0,2 mg/l pada titik terjauh unit distribusi. Berdasarkan peraturan tersebut, terdapat enam titik pengukuran tidak masuk ke dalam rentang sisa klor yaitu satu titik dengan nilai 0,142 mg/l, tiga titik dengan nilai 0,16 mg/l, satu titik dengan nilai 0,177 mg/l dan satu titik dengan nilai 0,195 mg/l. Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa masih terdapat wilayah distribusi yang memiliki kadar sisa klor di luar baku mutu sekitar 26,1% dan sebanyak 73,9% wilayah telah memenuhi baku mutu. wilayah yang memiliki kadar sisa klor di bawah baku mutu berada pada jarak 3-6 km.

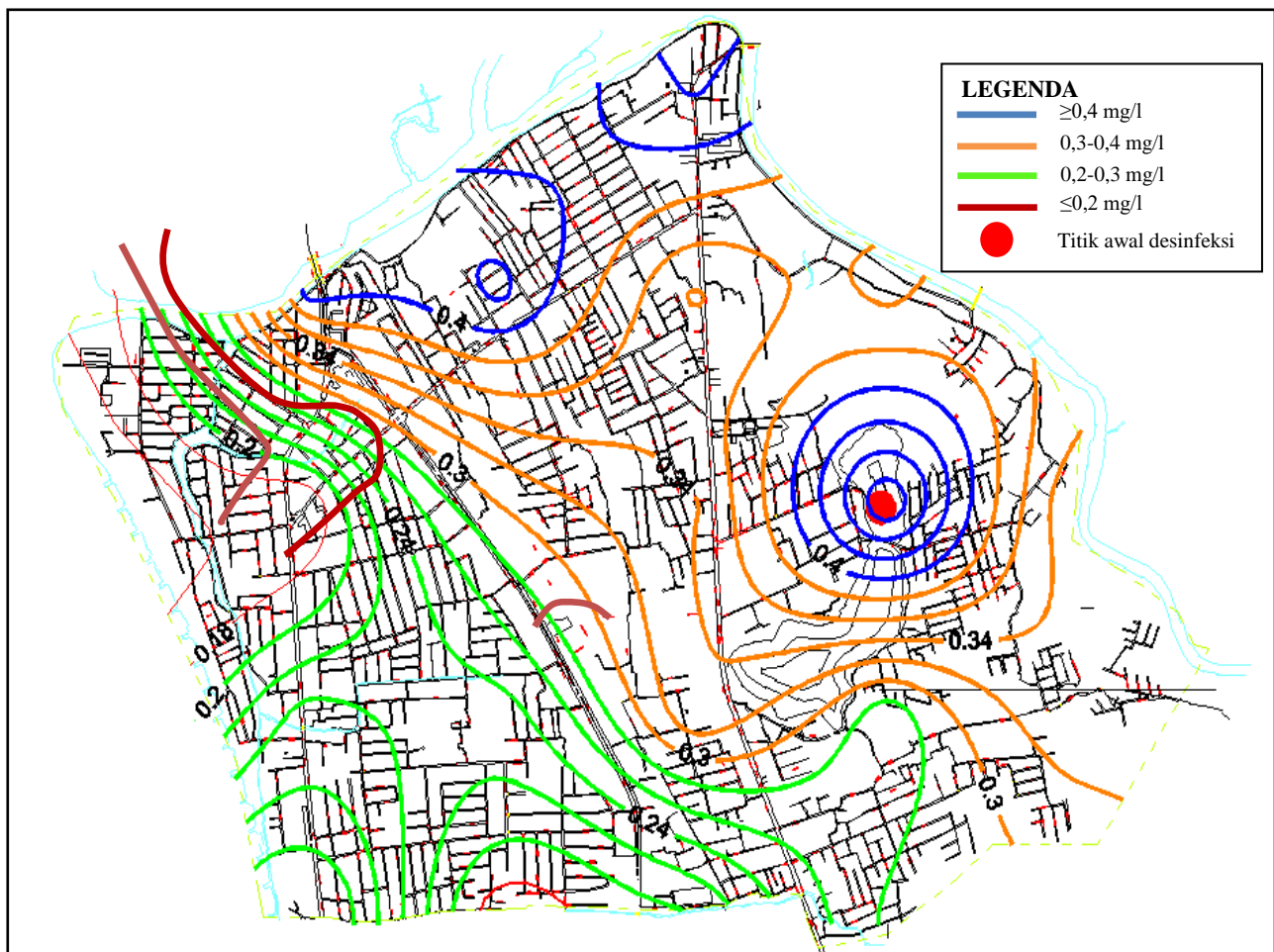
Sesuai dengan hasil pemeriksaan tersebut, peta isokonsentrasi pada Gambar 1 terdapat empat macam warna garis kontur. Warna-warna tersebut menunjukkan kadar sisa klor yang terdapat pada jaringan distribusi air minum di wilayah tersebut. Kadar sisa klor yang >0,4 mg/l ditunjukkan dalam garis kontur berwarna biru. Wilayah ini memiliki sisa klor yang paling tinggi di wilayah rayon 8 dan masih di dalam rentang baku mutu. Tingginya kadar sisa klor di

wilayah ini disebabkan oleh lokasinya yang sangat dekat dengan IPA Gunung Pangilun sehingga jarak distribusi air minum masih dekat. Daerah dengan kadar sisa klor $>0,4$ mg/l berada pada radius 0-300 meter. Selain itu, terdapat empat titik sampling yang berada di bagian utara rayon 8 memiliki kadar sisa klor $>0,4$ mg/l meskipun sudah berada pada jarak ± 1 km. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya interkoneksi dari sumber dan pengolahan air minum di wilayah pelayanan utara yaitu sumur bor 3A dan 3B yang berada di Kelurahan Sungai Sapih, Kecamatan Kuranji yang memungkinkan memiliki kadar sisa klor lebih tinggi.

Untuk wilayah dengan garis kontur berwarna jingga menunjukkan bahwa sisa klor yang terdapat pada jaringan distribusi di wilayah tersebut diantara 0,3 mg/l – 0,4 mg/l. Daerah ini berada pada radius 300 meter sampai 1 km dari reservoir dan kadar sisa klor sudah mulai berkurang. Wilayah dengan kadar sisa klor antara 0,2 mg/l – 0,3 mg/l berada pada radius 1- 2,4 km ditunjukkan dengan garis kontur berwarna hijau dan

garis kontur berwarna merah menunjukkan wilayah dengan kadar sisa di bawah 0,2 mg/l. Wilayah ini berada cukup jauh dari IPA Gunung Pangilun yaitu pada radius 2,4–3 km. Titik sampling dengan kadar sisa klor 0,14-0,19 berada di dekat pesisir pantai Padang, sehingga banyak faktor yang memungkinkan berkurangnya kadar sisa klor. Kondisi wilayah yang berada di dekat pantai memungkinkan terjadinya intrusi air laut ke dalam perpipaan air minum. Intrusi dapat terjadi pada sambungan atau persimpangan pipa (aksesoris) dan pipa yang bocor.

Pada Gambar 1 juga terlihat bahwa pada jarak yang lebih jauh memiliki kadar sisa lebih tinggi daripada jarak yang dekat seperti pada jarak 3,848 km memiliki sisa klor sebesar 0,142 mg/l sedangkan pada jarak 5,675 km memiliki sisa klor sebesar 0,195 mg/l. Hal ini dapat terjadi karena berbagai faktor. Selain pH dan suhu yang mempengaruhi sisa klor, perpipaan dan kondisi lingkungan disekitar pipa juga dapat mempengaruhi sisa klor.



Gambar 1. Peta Isokonsentrasi Sisa Klor Rayon 8

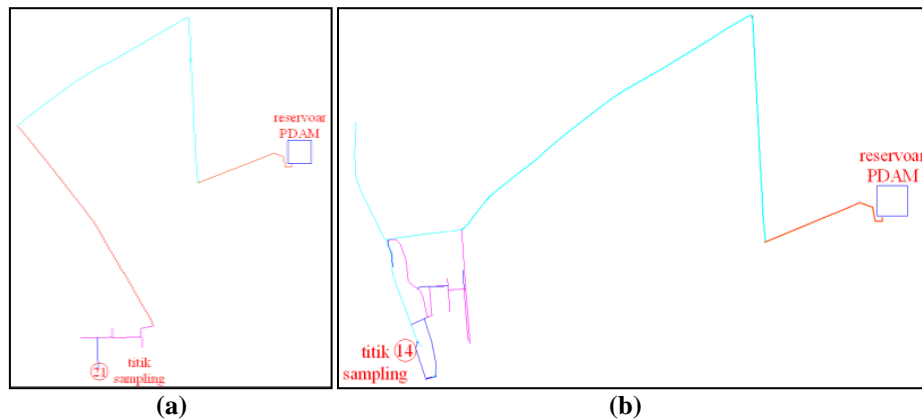
Air hasil pengolahan di IPA Gunung Pangilun didistribusikan ke rayon 8 menggunakan pipa yang berdiameter nominal pipa bervariasi dari DN 25–400 dengan tahun pemasangan pipa pada tahun 1985, 2002, 2003, 2004, 2005 sampai 2012. Jenis pipa yang digunakan terdiri dari pipa *steel*, pipa ACP, pipa GI,

pipa DCIP sebagai pipa distribusi utama dan sekunder dan pipa PVC dan ACP sebagai pipa distribusi tertier. Di beberapa wilayah distribusi rayon 8, pipa distribusi yang digunakan telah diganti dengan pipa HDPE. Jenis pipa ikut mempengaruhi kadar sisa klor di jaringan distribusi. Penelitian Heim dan Dietrich (2006)

menjelaskan bahwa pipa HDPE membutuhkan klorin yang lebih banyak daripada pipa PVC yaitu 0,1-0,9 mg/cm². Penelitian lainnya tentang perbedaan kebutuhan klor pada pipa PVC dan pipa tembaga menyimpulkan bahwa pipa tembaga memerlukan dosis klorin lebih tinggi dari pipa PVC untuk mencapai desinfeksi yang efektif (Lehtola dkk., 2004)

Sistem distribusi PDAM Kota Padang berupa *loop*. Pada sistem *loop* banyak sambungan pipa pada persimpangan. Sambungan pipa merupakan salah satu jalan bagi kontaminan untuk masuk ke dalam pipa. Seperti sisa klor di titik sampling 21 dengan jarak

5,675 km sisa klor 0,195 berada pada jaringan pipa yang tidak terlalu berkelok-kelok sehingga aksesoris yang dilewati pun sedikit. Berbeda dengan titik sampling 14 dengan jarak 4,374 km dan sisa klor 0,16 mg/l, jaringan pipa yang dilewati cukup banyak persimpangan. Sistem *loop* juga bertujuan agar air mengalir kontinu sehingga umur air dalam pipa tidak terlalu lama. Penelitian Srinivasan dkk (2008) menghasilkan bahwa dalam waktu tinggal air yang meningkat menjadi 8,2-48 jam, persentase bakteri dalam air meningkat menjadi 7-88% pada 0,2 mg/l sisa klor.



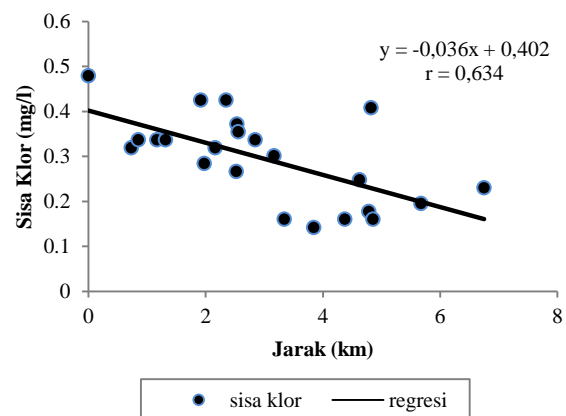
Gambar 2. Jalur Distribusi Air Minum dari Reservoir Sampai Titik Sampling 21 (a) dan Titik Sampling 14 (b)

Berdasarkan uraian di atas, diketahui bahwa jarak merupakan faktor dominan terhadap berkurangnya sisa klor. Semakin jauh jarak tempuh distribusi, kadar sisa klor akan semakin berkurang. Selain jarak distribusi, sisa klor juga dipengaruhi oleh pH, suhu, kondisi pipa, dan kondisi lingkungan perpipaan.

3.3 Pengaruh Jarak Distribusi Terhadap Kadar Sisa Klor

Output uji korelasi adalah -0,634 (Gambar 3). Nilai korelasi 0,634 menunjukkan hubungan antar jarak dan sisa klor memiliki tingkat hubungan yang kuat, sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak distribusi sangat mempengaruhi keberadaan kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Tanda (-) berarti hubungan antar variabel terbalik semakin jauh jarak distribusi air minum, kadar sisa klor akan semakin menurun. Sisa klor berkurang sebesar 0,24 mg/l setelah menempuh jarak 6,75 km yang berarti sisa klor berkurang 0,036 mg/l setiap jarak 1 km. Hasil ini sejalan dengan penelitian Yani dan Roosmini (2008) di PAM Jaya Jakarta yaitu pada jarak 1 km, sisa klor berkurang 0,13 mg/l. Demikian juga penelitian Asryadin dkk (2012) di PDAM Bima juga mengungkapkan hal yang sama bahwa sisa klor berkurang dari 0,45 mg/l pada jarak 0 km hingga menjadi 0,0975 mg/l pada jarak 20 km. Tetapi, dari beberapa penelitian tersebut terdapat perbedaan besarnya penurunan sisa klor dalam jarak 1 km. Pada penelitian di PAM Jaya, penurunan sisa klor cukup besar yang disebabkan pipa yang sudah tua, terjadi

reaksi sisa klor dengan senyawa hidrogen sulfida dan senyawa organik yang masuk melalui celah pipa pada sambungan yang tidak terpasang dengan baik dan masuknya air hujan serta air sungai pada pipa yang melewati sungai.



Gambar 3. Hubungan Jarak Distribusi Terhadap Sisa Klor

Persamaan yang diperoleh dari uji regresi jarak dengan sisa klor di atas menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klor mencapai nilai 0 mg/l ($y=0$) pada jarak tempuh 11,17 km. Hasil ini berbeda dengan penelitian Yani dan Roosmini (2008) bahwa sisa klor akan habis pada jarak 7,027 km dari reservoir. Perbedaan ini dapat terjadi karena terdapat faktor lain yang mempengaruhi penurunan sisa klor di jaringan distribusi seperti

kondisi pipa dan kondisi lingkungan di masing-masing wilayah.

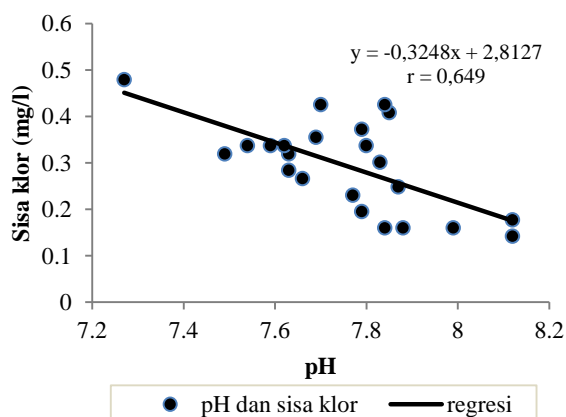
Dari grafik juga dapat dilihat bahwa pada jarak distribusi yang sama, memiliki konsentrasi sisa klor yang berbeda serta pada jarak yang lebih jauh terdapat sisa klor lebih tinggi daripada pada daerah dengan jarak yang dekat. Hal ini dapat diakibatkan dari keadaan pipa dan lingkungan yang dilewatinya. Misalnya pada titik 3 dan 4 yang sama-sama memiliki jarak tempuh distribusi 4,8 km, tetapi pada titik 3 memiliki sisa klor dengan konsentrasi 0,177 mg/l dan pada titik 4 memiliki konsentrasi 0,408 mg/l. Kondisi ini dapat diakibatkan oleh jalur pipa yang dilewati air untuk menuju titik-titik tersebut berbeda. Jalur distribusi menuju titik 3 lebih banyak persimpangan sehingga melewati lebih banyak sambungan pipa yang memungkinkan masuknya kotoran ke dalam jaringan pipa.

Bakteri dapat masuk bersama air tanah atau air hujan yang terkontaminasi ke dalam pipa melalui celah sambungan dan pipa yang bocor. Material pipa dapat menjadi media pertumbuhan dengan menggunakan senyawa-senyawa organik sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakteri (LeChevallier, 1999). Sisa klor yang terdapat dalam pipa distribusi akan bereaksi untuk membunuh bakteri-bakteri yang tumbuh di sepanjang dinding pipa tersebut, sehingga kadar sisa klor akan semakin menurun terhadap jarak.

3.4 Pengaruh pH Terhadap Sisa Klor

Berdasarkan hasil pemeriksaan diperoleh nilai pH pada setiap jarak tempuh distribusi memenuhi persyaratan Permenkes RI No. 492/Menkes/SK/IV/2010. Nilai pH masih berada dalam rentang baku mutu yaitu 7,28-8,12. pH yang netral dapat mendukung proses pengolahan dapat dilakukan secara efektif. Kegunaan pengaturan pH dalam instalasi air minum bertujuan untuk mengendalikan korosi perpipaan dalam sistem distribusi (Daud, 2001). Air adalah bahan pelarut yang baik sekali sehingga apabila pHnya tidak netral dapat melarutkan berbagai elemen kimia yang dilaluinya (Soemirat, 2002).

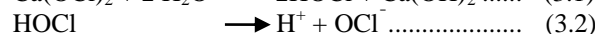
Nilai korelasi dan persamaan regresi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan pH dengan Sisa Klor

Nilai korelasi antara pH dengan sisa klor adalah -0,649. Tanda (-) berarti hubungan antar variabel terbalik semakin tinggi nilai pH dalam air minum, kadar sisa klor akan semakin menurun. Nilai 0,649 menunjukkan bahwa antar pH dan sisa klor memiliki tingkat hubungan yang kuat, sehingga dapat disimpulkan bahwa pH mempengaruhi keberadaan kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum.

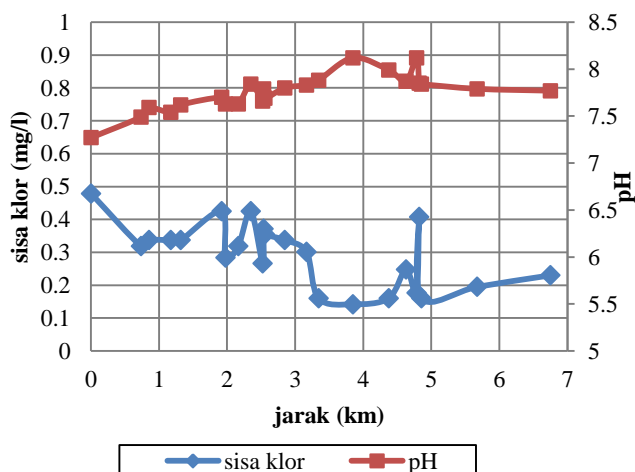
Hasil pemeriksaan sisa klor 0,479 mg/l dengan pH sebesar 7,27 dan sisa klor 0,142 mg/l dengan nilai pH 8,12. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Asryadin dkk (2012) bahwa sisa klor akan semakin menurun seiring naiknya nilai pH dengan hasil pemeriksaan sisa klor sebesar 0,45 mg/l pada kondisi pH 7,674 hingga sisa klor sebesar 0,0975 mg/l pada pH sebesar 8,575. Perubahan pH dalam air berhubungan dengan daya kerja klor. Kaporit bereaksi dengan air menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan Ca(OH)_2 .



Asam hipoklorit akan semakin berkurang dalam distribusi air minum untuk membunuh bakteri yang masuk selama pendistribusian air minum, sedangkan Ca(OH)_2 bersifat basa atau alkalis (Rohim, 2006).

Berbeda dengan hasil penelitian ini, beberapa penelitian menemukan bahwa tidak ada perbedaan signifikan pada peluruhan klorin. Zhang dan Andrews (2012) mengukur pada pH 6,6-8,6 dan Powell dkk (2000) mengobservasi pada pH 6,8-8,3. Hasil penelitian tersebut tidak menunjukkan hubungan signifikan antara pH dan peluruhan klor.

pH yang terukur di masing-masing titik sampling cukup bervariasi. Variasi perubahan pH air tidak hanya dipengaruhi secara langsung oleh jarak tempuh distribusi dalam sistem perpipaan. Perubahan yang terjadi dapat disebabkan karena adanya pipa distribusi air yang rusak atau bocor sehingga memungkinkan suplai air dari luar yang dapat menyebabkan pencemaran air dan peningkatan jumlah dan aktifitas mikroorganisme terutama bakteri dalam metabolisme hidupnya sehingga member kontribusi dalam perubahan pH (Triatmaja, 2006).

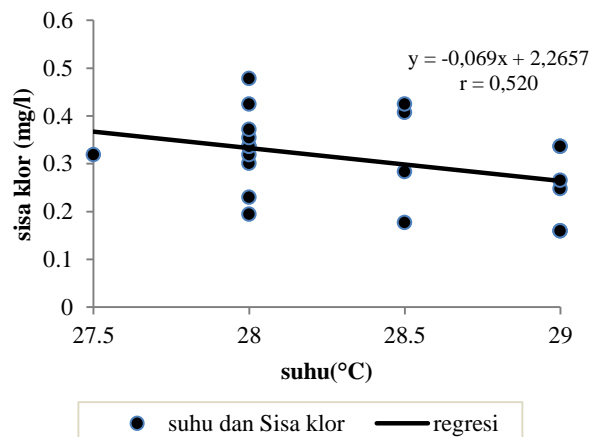


Gambar 5. Hubungan Jarak, pH, dan Sisa Klor

Selain pengaruh terhadap sisa klor, juga dapat dianalisis hubungan antara pH dengan jarak distribusi. Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara jarak dengan sisa klor dan pH. Dari grafik tersebut, diketahui bahwa dengan bertambahnya jarak distribusi, kadar sisa klor akan menurun dan pH akan meningkat. Pada grafik juga diketahui bahwa pada jarak besar dari 4 km, pH tidak terlalu berfluktuasi bahkan cenderung menurun. pH akan efektif pada kondisi 5,5-7,2 pada kondisi pH diatas 7,6 klorinasi kurang efektif lagi (Buckle, 1987).

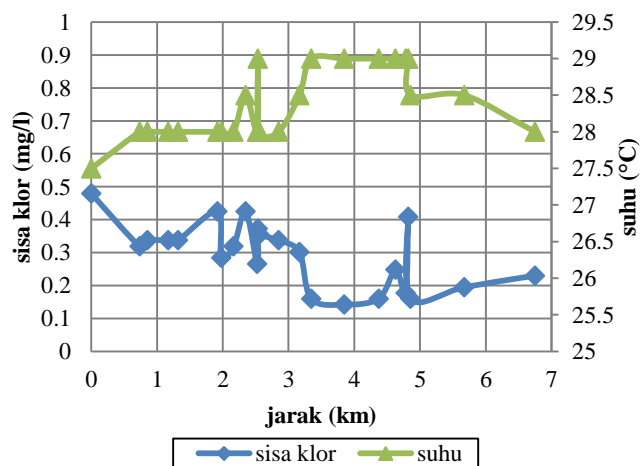
3.5 Pengaruh Suhu Terhadap Sisa Klor

Nilai suhu berkisar antara 27,5-29 °C. Nilai korelasi antara suhu dengan sisa klor adalah -0,52. Nilai 0,52 menunjukkan hubungan antar suhu dan sisa klor yang memiliki tingkat hubungan yang sedang, sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu ikut mempengaruhi keberadaan kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Hal ini terlihat pada Gambar 6 dimana nilai suhu tidak terlalu bervariasi. Tanda (-) berarti hubungan antar variabel terbalik berarti semakin tinggi nilai suhu dalam air minum, kadar sisa klor akan semakin menurun. Kenaikan suhu hanya sebesar 0,5°C pada penurunan sisa klor 0,24 mg/l. Demikian juga dengan penelitian Asryadin dkk (2012) memperoleh hasil pemeriksaan suhu air perpipaan yang meningkatkan di jaringan distribusi, tetapi tidak signifikan. Suhu meningkat sebesar 0,6°C pada sisa klor 0,45 mg/l sampai 0,0975 mg/l. Berbeda dengan penelitian Triatmadja (2006) yang menyatakan terjadi penurunan efisiensi natrium hipoklorit berdasarkan perbedaan suhu yaitu pada suhu 10°C terjadi penurunan 0,1 mg/l, suhu 20°C terjadi penurunan 1,1 mg/l serta pada suhu 25°C terjadi penurunan 2 mg/l. Data ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu air peluruhan klor semakin besar.



Gambar 6. Hubungan Suhu dengan Sisa Klor

Pada Gambar 7, suhu dalam air di beberapa titik meningkat seiring dengan meningkatnya jarak tempuh tetapi juga tidak signifikan. Suhu meningkat menjadi 0,5°C sejauh 6,75 km. Berbeda dengan penelitian ini, Fisher dkk (2012) melakukan penelitian pengaruh temperatur terhadap peluruhan klor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peluruhan klor semakin cepat seiring dengan meningkatnya suhu. Begitu pula dengan penelitian Liu dkk (2014) yang menyimpulkan bahwa klor semakin cepat meluruh seiring pemanasan yang semakin lama. Perbedaan hasil ini dapat diakibatkan oleh beberapa kondisi seperti pengukuran yang menggunakan termometer dengan ketelitian rendah dan kondisi perpipaan yang terdapat di lokasi sampling karena selain pH dan suhu, jenis pipa juga ikut mempengaruhi kadar sisa klor di jaringan distribusi.



Gambar 7. Hubungan Jarak, Suhu, dan Sisa Klor

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kadar sisa klor di jaringan distribusi rayon 8 PDAM Padang, dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Kadar sisa klor yang tersebar di jaringan distribusi air minum rayon 8 sebagian besar telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permenkes RI No. 736 tahun 2010, yang berkisar antara 0,142-0,479 mg/l dan ada enam titik yang berada di bawah baku

mutu dengan konsentrasi 0,142-0,195 mg/l dengan jarak distribusi 3-6 km dari reservoir;

2. Bagian utara distribusi rayon 8 yang berada 1 km dari reservoir IPA Gunung Pangilon masih memiliki kadar sisa klor cukup tinggi dimungkinkan karena adanya interkoneksi dengan sumber pengolahan air di wilayah pelayanan utara PDAM Kota Padang seperti sumur bor 3A dan 3B;
3. Kadar sisa klor semakin berkurang seiring dengan semakin bertambahnya nilai jarak, pH, dan suhu dengan nilai korelasi masing-masing -0,634; -0,649; dan -0,520.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A.D. Eaton, L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, (Eds.), 20th ed., Washington D.C.
- Asryadin, Christyaningsih, J., dan Soedarjo. 2012. *Pengaruh Jarak Tempuh Air Dari Unit Pengolahan Air Terhadap pH, Suhu, Kadar Sisa Klor dan Angka Lempeng Total Bakteri (ALTB) Pada PDAM Kota Bima Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Analisis Kesehatan Sains Vol. 01 ISSN 2302-3635. Poltekkes Surabaya: Surabaya
- Buckle, K. A., Edwards R.A., Fleet G.H., dan Wooton M. 1987. *Ilmu Pangan, Departemen of Education and Culture – Directorate of Higher Education–DGHE–IDP*. International Development Program of Australian Universities and Colleges.
- Fisher, I., Kastl, G., Sathasivan, A. 2012. *A Suitable Model Of Combined Effects Of Temperature And Initial Condition On Chlorine Bulk Decay In Water Distribution Systems*. Water Res. 46, hal. 3293-3303
- Garcia V. J., Garcia C, Gomez J.A, Garcia M.P. 1997. *Formation, Evolution, and Modelling of Trihalomethanes in the Drinking Water of A Town: II. In The Distribution System*. Water Res. 31, hal. 1405
- Heim, T.H. dan Dietrich, A.M. 2006. *Sensory Aspects And Water Quality Impacts Of Chlorinated And Chloraminated Drinking Water In Contact With HDPE And PVC Pipe*. Water Res. 41, hal. 757-764
- Lehtola, M.S., Miettinen, I.T., Lampola, T., Hiruonen, A., Vartiainen, T., Martikainen, P.J. 2004. *Pipeline Materials Modify The Effectiveness Of Disinfectants In Drinking Water Distribution Systems*. Water Res. 39 hal. 1962–1971
- Liu, B., Reckhow, D.A., Li, Y. 2014. *A Two-site Chlorine Decay model For The Combined Effects Of pH, Water Distribution Temperature And In-home Heating Profiles using Differential Evolution*. Water Res. 53, hal. 47-57
- Nurdjannah, S., dan Moesriati, A., 2005. *Optimalisasi Pembubuhan Gas Klor di Instalasi Penjernih Ngagel II PDAM Kota Surabaya*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi I, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010. *Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum*.
- Putri, F.H. 2012. *Pengaruh Jarak Distribusi Air Terhadap Kadar Sisa Klor, Jumlah E. Coli dan MPN Coliform Pada Jaringan Distribusi Air PDAM Kabupaten Nganjuk*. Skripsi S1 Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Airlangga: Surabaya
- Powell, J.C., Hallam, N.B., West, J.R., Forster, C.F., Simms, J., 2000. *Factors Which Control Bulk Chlorine Decay Rates*. Water Res. 34, hal. 117-126.
- Rohim, M. 2006. *Analisis Penerapan Metode Kaportisasi sederhana terhadap Kualitas Bakteriologis Air PMA*. Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro
- Soemirat. 2002. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Srinivasan, S., Harrington, G.W., Xagoraki, I., Goel, R. 2008. *Factors Affecting Bulk To Total Bacteria Ratio In Drinking Water Distribution Systems*. Water Res. 42 hal. 3393–3404
- Sugiarto. 2003. *Teknik Sampling*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Triatmadja, R. 2006. *Pra Analisa Pada Jaringan Pipa Untuk Meningkatkan Kecepatan Komputasi*. UGM: Yogyakarta
- Waluyo, 2009. *Mikrobiologi Umum*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang
- Yani, S.D dan Roosmini, D. 2008. *Pengaruh Jarak Terhadap Penurunan Sisa Klor di Jaringan Distribusi PAM Jaya Jakarta Daerah Pelayanan Jakarta Barat*. Program Studi Teknik Lingkungan, ITB: Bandung
- Zhang dan Andrews. 2012. *Catalysis Of Copper Corrosion Products On Chlorine Decay And Haa Formation In Simulated Distribution Systems*. Water Res. 46 (8), hal. 2665-2673.