

Pengaruh Jarak Distribusi dan Parameter Kualitas Air (Suhu, pH, Coliform) terhadap Sisa Klor pada Jaringan Distribusi PDAM : Studi Literatur

MUHAMMAD FARHAN M¹, MOHAMAD RANGGA SURURI²

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia
Email : muhammad.farhan.muhammadrahman@itenas.ac.id

ABSTRAK

Kualitas air minum dalam jaringan distribusi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kadar sisa klor yang berperan penting dalam menjaga keamanan mikrobiologis. Penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur untuk mengkaji hubungan antara jarak distribusi, pH, dan suhu terhadap kadar sisa klor, serta implikasinya terhadap keberadaan coliform/E. coli. Hasil kajian menunjukkan bahwa jarak distribusi berhubungan negatif dengan kadar sisa klor, di mana semakin jauh jarak distribusi, konsentrasi klor residual semakin menurun. Faktor pH dan suhu juga berpengaruh signifikan; pH tinggi mengurangi efektivitas klor, sementara suhu tinggi mempercepat degradasi klor. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya risiko kontaminasi coliform/E. coli ketika sisa klor berada di bawah standar minimum 0,2 mg/L. Oleh karena itu, PDAM perlu mengoptimalkan dosis awal klor, melakukan pemantauan rutin terhadap pH dan suhu, serta menjaga integritas jaringan distribusi untuk menjamin kualitas air minum.

Kata kunci: jarak distribusi, sisa klor, pH, suhu, coliform, PDAM, kualitas air minum

1. PENDAHULUAN

Air bersih yang didistribusikan melalui jaringan pipa di sistem penyediaan air minum (SPAM) tidak selalu dapat mempertahankan kualitasnya sampai ke konsumen (Josopandojo, 2021). Untuk menjamin kualitasnya, proses desinfeksi dengan klorin merupakan metode yang paling banyak digunakan di Indonesia karena efektif, ekonomis, dan mampu meninggalkan sisa klor (desinfektan cadangan) dalam jaringan distribusi (Yose, 2016). Kehadiran sisa klor sangat penting untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme patogen dan kontaminasi ulang sepanjang pipa distribusi (Duressa dkk., 2019).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, kadar sisa klor pada jaringan distribusi harus berada dalam rentang 0,2–0,5 mg/L. Namun, kadar ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama jarak distribusi, pH, suhu, serta kondisi infrastruktur pipa. Jarak distribusi yang semakin jauh menyebabkan waktu kontak yang lebih lama antara klor dan air, sehingga sisa klor cenderung menurun akibat reaksi kimia maupun biologis (Komala dkk., 2023). Faktor pH turut menentukan efektivitas klor, karena pada pH tinggi klor kurang efektif dibandingkan pada pH rendah di mana klor lebih banyak berbentuk HOCl (Ramadhani dkk., 2024). Sementara itu, suhu berpengaruh pada kecepatan degradasi klor, di mana semakin tinggi suhu, laju dekomposisi klor semakin cepat (García-Ávila dkk., 2020).

Apabila kadar sisa klor menurun di bawah ambang batas, maka efektivitasnya sebagai pelindung sekunder terhadap bakteri patogen, termasuk coliform dan *E. coli*, menjadi sangat terbatas (Hermiyati, 2017; Widiastuti, 2017). Keberadaan *E. coli* di air minum merupakan indikator pencemaran tinja yang berhubungan langsung dengan risiko penyakit bawaan air (*waterborne diseases*) seperti diare, kolera, dan infeksi saluran pencernaan lainnya (WHO, 2017). Sehingga, menurunnya sisa klor tidak hanya berdampak pada berkurangnya kualitas air secara kimiawi, tetapi juga meningkatkan ancaman kesehatan masyarakat akibat kontaminasi mikrobiologis.

Tulisan ini bertujuan untuk membahas hubungan jarak distribusi terhadap kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum PDAM. Selain itu, dibahas juga faktor-faktor yang memengaruhi penurunan sisa klor, seperti suhu, pH, dan keberadaan bakteri *E. coli* (coliform), sehingga dapat diberikan gambaran teknis mengenai peran parameter-parameter tersebut dalam menjaga kualitas air.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah studi literatur. Sumber Literatur yang ditelaah meliputi artikel ilmiah serta buku-buku yang berkaitan dengan hubungan jarak distribusi, sisa klor, serta parameter kualitas air (suhu, pH, dan coliform) pada jaringan distribusi PDAM. Proses pencarian referensi dilakukan melalui Google Scholar dengan memanfaatkan sejumlah kata kunci, antara lain: sisa klor, jarak distribusi, PDAM, suhu, pH, *E. coli*. Studi dilakukan dengan cara merangkum temuan penelitian sebelumnya serta membandingkan hasil-hasil yang diperoleh, kemudian disusun berdasarkan pokok pembahasan, seperti: Jarak distribusi dan pengaruhnya terhadap penurunan sisa klor; Suhu dan pH distribusi dan pengaruhnya terhadap penurunan sisa klor; Coliform/*E. coli* sebagai indikator biologis kualitas air minum. Penyusunan tersebut digunakan untuk menyusun kerangka konseptual sebelum memasuki pembahasan utama mengenai :“Pengaruh Jarak Distribusi dan Parameter Kualitas Air terhadap Sisa Klor pada Jaringan Distribusi PDAM.” Literatur yang digunakan untuk membandingkan hasil penelitian dibatasi pada publikasi ilmiah 10 tahun terakhir (2015–2025) agar tetap relevan dengan kondisi terkini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

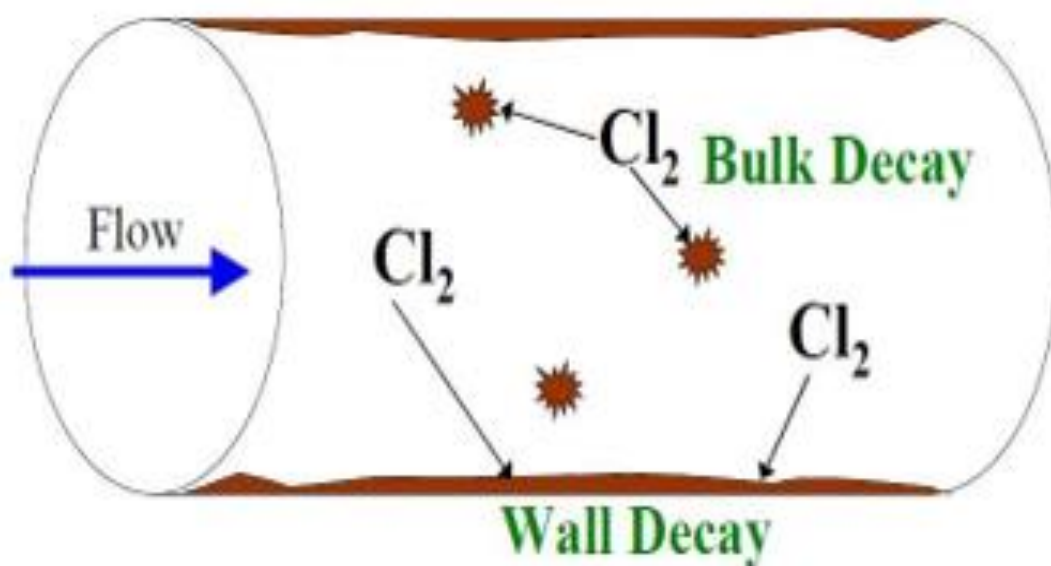
3.1 Hubungan Jarak Distribusi Terhadap Kadar Sisa Klor

Klorinasi merupakan proses penambahan klorin ke dalam air yang telah melalui tahap pengolahan, khususnya setelah filtrasi, dengan fungsi utama yaitu menginaktifkan mikroorganisme patogen dan mengoksidasi bahan kimia terlarut (Desi, 2018). Dari proses ini terbentuk sisa klor, yaitu klor bebas yang masih tersisa di dalam air dan berfungsi sebagai pelindung sekunder terhadap kontaminasi mikrobiologis dalam jaringan distribusi. Konsentrasi sisa klor di jaringan distribusi dipengaruhi oleh dosis awal klor yang diberikan serta jarak distribusi air dari reservoir menuju pelanggan. Secara teori, semakin jauh jarak tempuh air dalam jaringan distribusi, maka semakin besar potensi terjadinya reaksi kimia maupun biologis yang menyebabkan penurunan kadar sisa klor.

Hasil penelitian Komala (2023) yang melakukan simulasi menggunakan EPANET pada jaringan distribusi Kota Padang menunjukkan bahwa sisa klor menurun secara bertahap seiring bertambahnya jarak. Dengan kadar klorin awal 2,20 mg/L di reservoir, diperoleh bahwa pada jarak 10–12 km konsentrasi sisa klor sudah berada di bawah 1 mg/L, sedangkan pada jarak 1–5

km nilainya masih di atas 1 mg/L. Penelitian serupa dilakukan oleh Afrianita dkk. (2016) di Rayon 8 PDAM Kota Padang, yang menemukan bahwa 26,1% titik distribusi memiliki sisa klor di bawah baku mutu, terutama pada daerah dengan jarak 3–6 km dari reservoir. Pada radius 300 m – 1 km, kadar sisa klor berkisar antara 0,3–0,4 mg/L, namun setelah menempuh jarak 6,75 km, kadar sisa klor turun menjadi 0,24 mg/L. Analisis korelasi lebih lanjut menunjukkan hubungan negatif yang cukup kuat antara jarak distribusi dan kadar sisa klor dengan nilai korelasi -0,634. Temuan ini mempertegas bahwa jarak distribusi merupakan salah satu faktor dominan dalam penurunan sisa klor di jaringan distribusi air minum.

Selain pengaruh jarak secara langsung, penelitian juga menunjukkan bahwa mekanisme reaksi kimia dalam pipa distribusi turut berperan dalam penurunan klor. Rasyad dkk. (2021) melalui simulasi menemukan bahwa kadar klor di titik terdekat reservoir mencapai 2,0 mg/L, namun menurun hingga 0,5 mg/L pada jarak 10 km. Analisis menunjukkan bahwa bulk reaction (reaksi dalam badan air) berkontribusi 30%, sedangkan wall reaction (reaksi pada dinding pipa) berkontribusi 70% terhadap degradasi klor. Hasil ini konsisten dengan penelitian Sofiya (2017) di IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih, yang menemukan bahwa sisa klor menurun dari 1,8 mg/L di dekat reservoir menjadi 0,4 mg/L pada jarak 12 km, dengan kontribusi wall reaction sebesar 75%.



Gambar 1. Skema Reaksi Peluruhan Klor dalam Sistem Distribusi
(sumber : Rossman, 2000)

Secara teoritis, skema reaksi ini dapat dijelaskan melalui **Gambar 1**, di mana klor mengalami degradasi baik pada dinding pipa (*wall reaction*) maupun dalam badan air (*bulk reaction*). Menurut (Oliveira dkk., 2024). Penurunan klor pada dinding pipa sangat dipengaruhi oleh pembentukan biofilm, karena klor akan bereaksi dengan biomassa yang menempel di dinding pipa. Sementara itu, *bulk reaction* terutama dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme dan bahan organik terlarut yang masih ada di dalam air. Kombinasi dari kedua mekanisme inilah yang menyebabkan konsentrasi sisa klor menurun seiring bertambahnya jarak distribusi.

3.2 Hubungan pH dan Suhu Terhadap Kadar Sisa Klor

Selain dipengaruhi oleh jarak distribusi, faktor pH dan suhu juga berpengaruh signifikan terhadap kestabilan kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Secara teoritis, pH menentukan bentuk spesiasi klor dalam air. Pada pH rendah (6–7), klor lebih banyak berada dalam bentuk asam hipoklorit (HOCl) yang merupakan disinfektan efektif. Namun pada pH tinggi (>8), klor lebih banyak berubah menjadi ion hipoklorit (OCl^-) yang memiliki efektivitas lebih rendah. Dengan demikian, peningkatan pH umumnya akan menurunkan efektivitas desinfeksi klor. Di sisi lain, suhu memengaruhi laju reaksi kimia klor dengan bahan organik maupun anorganik. Semakin tinggi suhu, semakin cepat laju dekomposisi klor, sehingga residu klor cenderung lebih cepat hilang pada jaringan distribusi di daerah dengan suhu tinggi (Desi, 2018).

Penelitian Ramadhani dkk. (2024) di Banjarmasin Barat menemukan adanya hubungan kuat antara pH dan jarak terhadap kadar sisa klorin. Rata-rata pH air adalah 7 dengan jarak sampel 4,7 km, dan kadar sisa klorin sebesar 0,27 mg/L. Analisis korelasi menunjukkan hubungan kuat negatif antara pH dan sisa klorin ($-0,767$), di mana peningkatan pH menyebabkan penurunan kadar sisa klorin. Jarak distribusi juga berhubungan sangat kuat dengan sisa klorin ($-0,850$), menegaskan bahwa semakin jauh jarak distribusi, semakin rendah kadar klorin residual, bahkan pada jarak 6,58 km kadar klorin sudah di bawah standar minimum kesehatan 0,2 mg/L.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian García-Ávila dkk. (2020) di kota Azogues, Ekuador, yang meneliti hubungan antara laju dekomposisi klorin dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju dekomposisi klorin rata-rata adalah $0,15 \text{ h}^{-1}$, dengan nilai korelasi 0,85 antara suhu dan laju dekomposisi klorin. Artinya, semakin tinggi suhu, semakin cepat klor terdegradasi dalam jaringan distribusi. Selain itu, pada titik distribusi terjauh dari instalasi pengolahan, kadar klorin residual berada di bawah standar WHO, yang memperkuat bukti bahwa suhu merupakan faktor penting yang memengaruhi kestabilan klorin.

Penelitian lain oleh Komala dkk. (2016) di jaringan distribusi PDAM Kota Padang juga menegaskan hal serupa. Analisis menunjukkan korelasi negatif antara sisa klorin dan jarak ($-0,634$), pH ($-0,649$), serta suhu ($-0,520$). Hasil ini memperlihatkan bahwa ketiga faktor tersebut secara simultan berkontribusi terhadap penurunan sisa klorin. Semakin tinggi pH dan suhu, semakin cepat klor terdegradasi, yang berdampak pada berkurangnya efektivitas desinfeksi dalam jaringan distribusi. Sehingga pH dan suhu merupakan faktor penting dalam menentukan kadar sisa klor di jaringan distribusi air minum. Peningkatan pH mengurangi efektivitas klor, sementara kenaikan suhu mempercepat laju degradasi klor. Oleh karena itu, pemantauan pH dan suhu air distribusi perlu dilakukan secara rutin oleh PDAM untuk memastikan kadar sisa klor tetap berada dalam batas aman sesuai standar kesehatan.

3.1 Hubungan Jarak Distribusi Terhadap Keberadaan coliform/ *E. coli*

Sisa klor berfungsi sebagai pelindung sekunder dalam jaringan distribusi untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen, termasuk coliform dan *E. coli*. Namun, konsentrasi sisa klor cenderung menurun seiring bertambahnya jarak distribusi. Kondisi ini menyebabkan efektivitas desinfeksi berkurang, sehingga risiko kontaminasi mikrobiologis meningkat. Apabila sisa klor turun di bawah ambang batas kesehatan (0,2 mg/L), kemampuan air untuk melawan kontaminasi bakteri menjadi sangat terbatas, terutama bila jaringan distribusi melewati lingkungan dengan potensi pencemaran tinggi.

Penelitian Hermiyati (2017) menunjukkan bahwa peningkatan jarak distribusi berbanding lurus dengan tingginya resiko kontaminasi air. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian di Surabaya yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara jarak distribusi dengan jumlah coliform, di mana titik distribusi terjauh cenderung memiliki kualitas air yang tidak memenuhi baku mutu. Hasil serupa juga diperkuat oleh Widiastuti (2017), yang menemukan bahwa penurunan sisa klor pada titik distribusi yang jauh berimplikasi pada meningkatnya jumlah coliform dalam jaringan pipa.

Studi Muniroh dkk. (2018) di PDAM Medini, Kudus, memperlihatkan bukti nyata dari hubungan ini. Pada titik distribusi sejauh 7,65–8 km dari reservoir, kadar sisa klor tercatat kurang dari 0,2 mg/L, sementara jumlah coliform melebihi 240 MPN/100 ml. Angka ini menunjukkan tingginya risiko kesehatan masyarakat apabila distribusi air melewati jarak panjang tanpa penambahan klor.

Temuan serupa dilaporkan dalam studi kasus di Ethiopia (Duressa dkk., 2019), di mana rendahnya sisa klor ($<0,5$ mg/L) berkorelasi dengan meningkatnya jumlah total coliform dalam air minum, yakni berkisar 12–120 CFU/100 ml. Selain itu, coliform fekal terdeteksi pada 37% sampel air keran. Hasil ini menegaskan bahwa distribusi air dengan sisa klor yang rendah sangat rentan terhadap pencemaran mikrobiologis.

Penelitian Zahrotul dkk. (2018) juga menunjukkan bahwa keberadaan coliform tidak hanya dipengaruhi oleh jarak distribusi dan penurunan sisa klor, tetapi juga oleh kondisi infrastruktur. Kebocoran pipa, letak pipa distribusi yang berdekatan dengan saluran limbah kota, serta minimnya sistem pembuangan limbah rumah tangga menjadi faktor tambahan yang memperburuk kontaminasi. Hal ini sejalan dengan temuan Sugiarti (2014), yang menekankan pentingnya kualitas infrastruktur dalam menjaga air tetap bebas dari kontaminasi mikrobiologis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian kajian pustaka yang dilakukan memberikan gambaran bahwa jarak distribusi memiliki hubungan negatif yang konsisten dengan kadar sisa klor, di mana semakin jauh jarak dari reservoir menuju pelanggan, semakin rendah konsentrasi klor residual akibat lamanya waktu kontak, degradasi alami, serta reaksi bulk dan wall di dalam jaringan pipa. Selain jarak, faktor pH dan suhu juga berpengaruh signifikan terhadap kestabilan klor. Peningkatan pH menyebabkan dominasi spesies OCI^- yang kurang efektif sebagai desinfektan, sedangkan peningkatan suhu mempercepat laju dekomposisi klor sehingga sisa klor lebih cepat hilang. Kondisi tersebut berdampak langsung pada keberadaan coliform atau *E. coli*, karena menurunnya kadar sisa klor di sepanjang distribusi membuat air tidak terlindungi dari pencemaran mikrobiologis. Pada jarak distribusi yang jauh, kadar klor residual sering kali berada di bawah standar minimal (0,2 mg/L), sehingga bakteri coliform dapat berkembang, apalagi jika diperburuk dengan infrastruktur yang kurang baik seperti kebocoran pipa atau kedekatan dengan saluran limbah. Dengan demikian, dapat ditegaskan bahwa jarak distribusi, sisa klor, pH, suhu, dan coliform saling berkaitan erat dalam menentukan kualitas air minum. Untuk itu, PDAM perlu melakukan pengelolaan terpadu, termasuk pengaturan dosis awal klor, pemantauan rutin pH dan suhu, serta perbaikan jaringan distribusi, agar kualitas air minum tetap terjaga sesuai dengan standar kesehatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Desi, R. S. (2018). Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Keberadaan Sisa Klorin pada Jaringan Distribusi Air Minum IPA Cileng PDAM Lawu Tirta Magetan.
- Duressa, G., Assefa, F., dan Jida, M. (2019). Assessment of bacteriological and physicochemical quality of drinking water from source to household tap connection in Nekemte, Oromia, Ethiopia. *Journal of environmental and public health*, 2019(1), 2129792.
- García-Ávila, F., Sánchez-Alvarracín, C., Cadme-Galabay, M., Conchado-Martínez, J., García-Mera, G., dan Zhindón-Arévalo, C. (2020). Relationship between chlorine decay and temperature in the drinking water. *MethodsX*, 7, 101002.
- Hermiyati. (2017). Analisis Sisa Klor dan Kualitas Mikrobiologis pada Jaringan Distribusi Air Minum di Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 16(1), 21–28.
- Josopandojo. (2021). Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D53-D58.
- Komala, P. S., Dewi, N. T., dan Adetya, A. (2023). Simulasi sisa klor pada jaringan distribusi wilayah utara Perumda Air Minum Kota Padang. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1).
- Muniroh, L., Prasetyo, H., & Fadilah, A. (2018). Hubungan Jarak Distribusi, Sisa Klor, dan Keberadaan Coliform pada Jaringan PDAM Medini Kudus. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 6(5), 679–688.
- Oliveira, I. M., Gomes, I. B., Simões, L. C., dan Simões, M. (2024). A review of research advances on disinfection strategies for biofilm control in drinking water distribution systems. *Water Research*, 121273.
- Ramadhani, N. R., Alim, M. S. A., Husin, M., dan Firdausy, M. A. (2024). ANALISIS PH, KEKERUHAN DAN JARAK AIR BERSIH TERHADAP SISA KLOOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PELANGGAN IPA 1 A. YANI PTAM BANDARMASIH ZONA BANJARMASIN BARAT. *Jernih: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 7(2), 53-53.
- Rossman, L. A., Clark, R.M., dan Grayman, W.M. (2000): Buku manual program EPANET versi bahasa Indonesia, Alih Bahasa Ekamitra Engineering, ISBN979-98486-7-9. Bandung, 9 – 36.
- Sugiarti. (2014). Dampak Kebocoran Pipa Distribusi terhadap Kualitas Air PDAM. *Jurnal Air Indonesia*, 10(1), 15–23.
- WHO, W. H. O. (2017). Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition.
- Widiastuti. (2017). Kualitas Air Minum Berdasarkan Sisa Klor dan Bakteri Coliform di Sistem Distribusi PDAM Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(2), 55–63.
- Yose, A. (2016). KAJIAN KADAR SISA KLOOR DI JARINGAN DISTRIBUSI PENYEDIAAN AIR MINUM RAYON 8 PDAM KOTA PADANG.
- Zahrotul, R., Hidayati, N., & Puspitasari, E. (2018). Pengaruh Jarak Distribusi dan Kondisi Pipa terhadap Keberadaan Bakteri Coliform pada Air Minum PDAM. *Jurnal Sains Lingkungan*, 6(2), 123–131.