

Sisa Klor Pada Jaringan Distribusi Air Minum

AMALIA NURAINI¹, MOHAMAD RANGGA SURURI

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: amalianuraini534@gmail.com

ABSTRAK

Ketersediaan air minum yang aman merupakan bagian dari target Sustainable Development Goals (SDGs) 6.1, sehingga kualitas air minum harus dijaga secara konsisten. Salah satu metode pengolahan yang umum digunakan adalah klorinasi, yang berfungsi membunuh mikroorganisme patogen. Namun, keberadaan sisa klor dalam jaringan distribusi air minum perlu diperhatikan karena konsentrasinya dapat menurun akibat reaksi dengan senyawa dalam air maupun kondisi jaringan perpipaan. Penelitian ini menggunakan pendekatan literature review untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi konsentrasi sisa klor serta dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan. Hasil kajian menunjukkan bahwa sisa klor dipengaruhi oleh jarak distribusi, dosis dan lokasi injeksi klor, pH air, serta kondisi kebocoran pipa. Konsentrasi sisa klor yang terlalu rendah ($<0,2$ mg/L) menurunkan efektivitas desinfeksi, sedangkan konsentrasi tinggi ($>0,5$ mg/L) berisiko menimbulkan gangguan kesehatan dan pembentukan produk samping berbahaya. Oleh karena itu, pengaturan sisa klor dalam batas aman ($0,2-0,5$ mg/L) menjadi krusial untuk menjamin keamanan air minum serta keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: sisa klor, jaringan distribusi, air minum

1. PENDAHULUAN

Air minum adalah air yang dengan dilakukan pengolahan ataupun tidak sudah memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Sejalan dengan target *Sustainable Development Goals* (SDGs) 6.1 yaitu 100% akses air minum aman, maka kualitas air minum merupakan salah satu hal pending yang perlu dijamin kesesuaiannya karena perlu dilakukan pengawasan kualitas air. Oleh karena itu, pengawasan kualitas air minum perlu dilakukan secara berkesinambungan. Klorinasi merupakan salah satu metode desinfeksi yang umum digunakan untuk menjamin keamanan mikrobiologis air minum. Klorinasi yaitu proses yang efektif untuk membunuh mikroorganisme patogen. Pemusnahan patogen dan parasit dengan cara desinfeksi sangat membantu dalam penurunan wabah penyakit salah satunya yang dapat diakibatkan dari konsumsi air dan makanan (Said, 2007). Namun, ketika air mengalir melalui jaringan distribusi, desinfektan bereaksi dengan materi dalam air dan pada dinding pipa, mengurangi jumlah klorin yang tersedia. Klorin dapat bereaksi dengan endapan, material korosif, dan lapisan biofilm di dinding pipa (Camper dkk., 1991).

Keberadaan sisa klor dalam jaringan distribusi memiliki peran ganda. Di satu sisi, keberadaan sisa klor sangat penting untuk menjamin perlindungan kualitas air selama proses distribusi. Konsentrasi sisa klor dalam jaringan distribusi air minum merupakan salah satu indikator dalam keberhasilan proses desinfeksi dan keamanan air bagi konsumen. Di sisi lain, konsentrasi sisa klor yang terlalu tinggi dapat menimbulkan dampak negatif, seperti iritasi kesehatan serta terbentuknya senyawa yang bersifat karsinogenik. Faktor yang memengaruhi konsentrasi sisa klor

dalam jaringan distribusi air minum di antaranya jarak distribusi, dosis injeksi klor, letak injeksi klor, pH air, kebocoran dan gangguan perpipaan (Sofia dkk, 2015).

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, menetapkan batas sisa klor dalam air minum sebesar 0,2-0,5 mg/liter. Kadar sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/liter dapat mengurangi kemampuan desinfeksi dan meningkatkan jumlah kontaminasi, sementara kadar sisa klor bebas di atas 0,5 mg/liter dapat bersifat karsinogenik dan toksik (Sofia dan Riduan, 2017). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meninjau literatur terkait sisa klor dalam jaringan distribusi air minum, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi konsentrasinya, serta menganalisis pengaruh keberadaan sisa klor dalam air terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

2. METODOLOGI

2.1 Desain Penelitian

Tujuan utama penelitian ini yaitu menganalisis sisa klor dalam jaringan distribusi air minum, penelitian ini menggunakan pendekatan *literature review* atau kajian pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu. Metode ini merupakan pendekatan yang tepat untuk merangkum bukti ilmiah dari berbagai sumber secara sistematis dan ter verifikasi (Kitchenham, 2004).

2.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang sisa klor dalam jaringan distribusi air minum, mulai dari faktor yang mempengaruhi hingga dampak terhadap kesehatan dan lingkungan. Kajian pustaka dipilih karena mampu merangkum hasil penelitian terdahulu. Studi pustaka tidak hanya bertujuan mengumpulkan referensi, tetapi juga digunakan untuk mengidentifikasi tren penelitian, membandingkan hasil studi yang ada, serta menemukan celah penelitian yang dapat memberikan kontribusi ilmiah baru (Machi dan McEvoy, 2016). Literatur yang dijadikan acuan berasal dari berbagai sumber, meliputi artikel jurnal internasional dan nasional, laporan lembaga resmi seperti WHO, serta peraturan pemerintah, khususnya Permenkes No. 2 Tahun 2023 yang menetapkan standar kualitas air minum di Indonesia.

2.3 Prosedur Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan dengan pendekatan studi literatur sistematis. Tujuannya adalah menyatukan dan membandingkan berbagai hasil penelitian terdahulu mengenai sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Langkah-langkahnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pencarian literatur, mengumpulkan berbagai artikel, laporan, dan dokumen resmi dari sumber yang terpercaya. Pencarian dilakukan melalui basis data ilmiah;
2. Seleksi literatur, dari hasil pencarian, tidak semua artikel langsung dipakai. Literatur disaring dengan kriteria seperti artikel diterbitkan dalam 5-10 tahun terakhir, membahas langsung tentang sisa klor dalam air minum, sumber berasal dari jurnal atau laporan lembaga resmi seperti WHO, EPA, dan Kemenkes RI;
3. Penyaringan informasi, artikel yang sudah lolos seleksi kemudian dibaca secara lebih detail.;
4. Analisis isi, informasi yang sudah terkumpul kemudian dikelompokkan ke dalam tema besar;

5. Perumusan kesimpulan, langkah terakhir adalah membandingkan dan menggabungkan hasil dari berbagai penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klorinasi ialah proses penambahan klorin ke dalam air dan merupakan langkah lanjut dalam pengolahan air. Proses ini bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen dan mengoksidasi bahan kimia dalam air (Desi, 2018). Kalsium hipoklorit atau kaporit ialah salah satu jenis klor yang sering digunakan karena harga yang murah, stabil, dan dapat disimpan dalam jangka waktu lama (Said, 2007). Kaporit menghasilkan asam hipoklorit (HClO) yang kemudian melepaskan atom oksigen. Semakin besar jumlah HClO yang terbentuk, semakin banyak atom oksigen yang dilepaskan sehingga meningkatkan efektivitas desinfeksinya. Saat dilarutkan dalam air, kalsium hipoklorit $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$ akan terurai menjadi ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion hipoklorit (ClO^-). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, menetapkan batas sisa klor dalam air minum sebesar 0,2-0,5 mg/liter.

3.1 Faktor yang Mempengaruhi Sisa Klor

Konsentrasi sisa klor dalam jaringan distribusi air minum merupakan salah satu indikator dalam keberhasilan proses desinfeksi dan keamanan air bagi konsumen. Faktor-faktor yang memengaruhi konsentrasi sisa klor dalam jaringan distribusi air minum di antaranya:

1. Jarak distribusi

Jarak distribusi air dapat mempengaruhi keberadaan sisa klor dalam jaringan distribusi air minum, yaitu dimana semakin jauh jarak distribusi air, maka kadar sisa klor akan semakin menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Afrianita dkk (2016), kadar sisa klor menyebar dalam jaringan distribusi air minum dan akan menurun saat jarak distribusi dari reservoir semakin jauh. Wilayah distribusi air PDAM Kota Padang, sekitar 26,1% jaringan memiliki kadar sisa klor di bawah baku mutu. Kondisi tersebut ditemukan pada daerah dengan jarak 3–6 km dari sumber. Konsentrasi sisa klor berkisar 0,3–0,4 mg/L terdeteksi pada radius 0,3-1 km. Setelah menempuh 6,75 km, kadar sisa klor menurun sebesar 0,24 mg/L, atau setara dengan penurunan rata-rata 0,036 mg/L untuk setiap kilometer.

Jarak distribusi yang jauh dari reservoir ke pelanggan maka sisa klor dalam air akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena klor yang terlarut dalam air akan teroksidasi dan berubah menjadi residu klor yang lebih sedikit seiring perjalanan air melalui pipa (Sofia dkk., 2015). Menurut Khakim (2017), jarak pelanggan dari reservoir mempengaruhi penurunan kadar sisa klor dalam jaringan. Semakin jauh jarak tempuh, konsentrasi klor cenderung semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh jarak alir yang panjang serta berkurangnya kecepatan aliran, khususnya saat kebutuhan air meningkat.

2. Dosis injeksi klor

Kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air dapat dipengaruhi oleh dosis klor yang dibubuhkan ke dalam air. Sofia dkk, (2015), dalam penelitiannya mengatakan bahwa semakin besar injeksi klor maka semakin besar sisa klor yang dihasilkan dalam air yang pelanggan terima, terutama di titik distribusi yang dekat dengan reservoir atau lokasi injeksi. Menurut Kallista dkk, (2023), Meskipun jumlah klor yang diinjeksi pada awalnya telah memadai, reaksi kimia antara klor dengan senyawa terlarut serta lapisan biofilm dalam pipa tetap dapat mengurangi konsentrasi sisa klor. Dengan

demikian, kebutuhan dosis klor perlu dihitung dengan mempertimbangkan faktor-faktor tambahan yang ada di dalam sistem distribusi.

Penelitian lain menegaskan bahwa penggunaan dosis injeksi klor yang terlalu tinggi berpotensi membentuk senyawa samping berbahaya sekaligus menimbulkan permasalahan bau dan rasa pada air. Dengan demikian, penentuan dosis harus dilakukan secara optimal untuk menjaga efektivitas sisa klor tanpa menimbulkan efek merugikan (Lisna, 2021).

3. Letak injeksi klor

Letak injeksi klor berpengaruh signifikan terhadap kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Dalam penelitian Sofia dkk, (2015), Semakin dekat titik injeksi klor dengan konsumen, kadar sisa klor di titik tersebut cenderung lebih tinggi karena waktu kontak klor dengan air lebih singkat dan konsumsi klor akibat reaksi kimia selama distribusi belum terlalu banyak terjadi. Sebaliknya, injeksi klor yang jauh dari konsumen menyebabkan penurunan kadar sisa klor selama perjalanan air, sehingga pelanggan di ujung jaringan mengalami kadar sisa klor yang lebih rendah. Penelitian Kallista, (2023), menyatakan bahwa kondisi pipa dan lingkungan sekitar lokasi injeksi klor juga mempengaruhi tingkat penurunan kadar sisa klor karena kebocoran pipa dan masuknya bahan pencemar yang mempercepat konsumsi klor dalam jaringan

4. pH air

pH air berpengaruh signifikan terhadap kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Dalam penelitian Afrianita dkk, (2016), hasil penelitian diperoleh hubungan antara pH dan sisa klor menunjukkan korelasi yang kuat. Hal ini berarti pH dalam jaringan distribusi berpengaruh signifikan terhadap kadar sisa klor dimana pH yang lebih tinggi menyebabkan nilai sisa klor yang lebih rendah. Natrium hipoklorit dihasilkan melalui proses elektroklorasi dalam pengolahan air. pH netral (7–7,5) dianggap optimal karena dapat menjaga keberadaan ion hipoklorit yang efektif dalam membunuh mikroorganisme. Peningkatan pH menyebabkan kadar klorin menurun, sementara efektivitas asam hipoklorit berkurang pada pH di atas 7,5. Oleh karena itu, pengaturan pH pada instalasi air minum penting untuk menjaga efektivitas desinfeksi sekaligus mencegah korosi pada jaringan distribusi.

Penelitian di PDAM Bantul dan jaringan distribusi lain menunjukkan bahwa pH optimal sekitar 6,5–7,5 untuk menjaga kadar sisa klor tetap efektif. pH yang tinggi bukan hanya menurunkan kadar sisa klor, tetapi juga dapat menyebabkan reaksi kimia lain yang mempercepat peluruhan klor dan mengurangi efektivitas desinfeksi (Ramadhan dan Ratni, 2021). Kadar sisa klor menurun semakin tinggi pH air, karena bentuk kimia klorin residu berubah. Ini mengharuskan penyesuaian dosis klor saat pH air berubah agar tetap mempertahankan keamanan air minum.

5. Kebocoran pipa

Kebocoran pipa berpengaruh signifikan terhadap kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air. Kebocoran pipa menyebabkan masuknya senyawa organik dan non-organik ke dalam jaringan distribusi, yang bereaksi dengan klorin sehingga mengurangi kadar sisa klor. Akibatnya, sisa klor yang tersedia untuk desinfeksi menjadi berkurang, terutama di daerah sekitar kebocoran. Studi simulasi jaringan distribusi dengan kebocoran pipa sebesar 25% menunjukkan bahwa pada jarak 2 km dari reservoir sisa klor masih cukup untuk mendesinfeksi, tetapi pada jarak 4 km dan 8 km kadar sisa klor menurun drastis hingga di bawah ambang batas efektif (0,04 mg/L pada 4 km dan 0,028 mg/L pada 8 km), sementara kontaminasi *Escherichia coli* meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa kebocoran mempercepat penurunan kadar klor dan memperbesar risiko

kontaminasi mikroba. Kondisi kebocoran pipa memperbesar risiko masuknya kontaminasi limbah domestik ke dalam sistem distribusi air minum, yang menyebabkan kualitas air menurun dan sulit dikendalikan hanya dengan penambahan klorin (Kurnia dan Farahdiba, 2023).

3.2 Dampak Konsentrasi Sisa Klor terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Dampak konsentrasi sisa klor dalam jaringan air minum terhadap kesehatan dan lingkungan berdasarkan penelitian yaitu:

1. Dampak terhadap kesehatan

Konsentrasi sisa klor yang terlalu tinggi ($>0,5$ mg/L) dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, kulit, mata, serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan lain seperti gatal-gatal dan alergi (Ramadhan, 2024). Paparan sisa klor tinggi juga dikaitkan dengan risiko jangka panjang seperti peningkatan risiko kanker kandung kemih dan usus menurut beberapa studi epidemiologi (Safa dan Sulistyorini, 2024). Konsentrasi sisa klor yang rendah ($<0,2$ mg/L) dapat menyebabkan desinfeksi tidak efektif sehingga memungkinkan pertumbuhan bakteri patogen dalam jaringan distribusi air yang membahayakan kesehatan konsumen (Ramadhan, 2024). Menurut Sofia dan Riduan, (2017), kadar sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/liter dapat mengurangi kemampuan desinfeksi dan meningkatkan jumlah kontaminasi, sementara kadar sisa klor bebas di atas 0,5 mg/liter dapat bersifat karsinogenik dan toksik.

2. Dampak terhadap kesehatan

Sisa klor yang memenuhi batas aman dapat membunuh mikroorganisme patogen di lingkungan air sehingga melindungi sumber air dan ekosistem (Putra dkk, 2022). Namun, kelebihan sisa klor dapat menghasilkan senyawa *by-product* berbahaya seperti trihalometana (THMs) yang bersifat karsinogenik dan merusak lingkungan air jika dibuang tanpa pengolahan yang tepat (Safa dan Sulistyorini, 2024).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, keberadaan sisa klor dalam jaringan distribusi air minum memiliki peran penting dalam menjamin keamanan mikrobiologis air. Namun, konsentrasinya sangat dipengaruhi oleh jarak distribusi, dosis dan letak injeksi, pH air, serta kondisi jaringan perpipaan. Sisa klor yang terlalu rendah menyebabkan desinfeksi tidak efektif, sementara kadar yang berlebihan menimbulkan risiko kesehatan dan dampak lingkungan akibat pembentukan produk samping berbahaya. Dengan demikian, pengendalian sisa klor pada rentang 0,2–0,5 mg/L sesuai standar Permenkes No. 2 Tahun 2023 merupakan langkah strategis untuk menjaga kualitas air minum. Selain itu, upaya monitoring rutin, perawatan jaringan distribusi, dan penyesuaian dosis klor perlu dilakukan agar distribusi air minum tetap aman, berkualitas, dan berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Afrianita, R., Komala, P. S. & Andriani, Y., 2016. Kajian Kadar Sisa Klor di Jaringan Distribusi Penyediaan Air Minum Rayon 8 PDAM Kota Padang. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II, 1(2), pp. 144-151.
- Camper, A. K., Mcfeters, G. A., Characklis, W. G., Dan Jones, W. L. 1991. Growth Kinetics Of Coliform Bacteria Under Conditions Relevant To Drinking Water Distribution Systems. Applied And Environmental Microbiology, 57(8), 2233-2239.

- Desi, R. S. 2018. Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Keberadaan Sisa Klorin Pada Jaringan Distribusi Air Minum Ipa Cileng Pdam Lawu Tirta Magetan
- Kallista, V., Wanardi., Dan Asbanu, G. C. 2023. Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor Pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Khatulistiwa). Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 11, No. 1.
- Khakim, A. R. A., 2017. Dinamika Bakteri Coliform Disebabkan Oleh Tekanan, Kekeruhan Dan Sisa Chlor Di Kota Surabaya, [Thesis]. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Kitchenham, Barbara. *Procedures for Performing Systematic Reviews*. United Kingdom: Keele University.
- Kurnia, S. D., Dan Farahdiba, A. U., 2023. Penggunaan Sistem Dinamis Vensim PLE sebagai Analisis Kualitas dan Kuantitas Air PDAM Tirta Kencana Kabupaten Jombang. *EnviroUS* 3(2)
- Lisna, Fatma. 2021. Analisis Kandungan Sisa Klor Dan *Escherichia Coli* Dalam Jaringan Distribusi Di *District Meter Area* (DMA) 2 Zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Kota Padang Panjang. Padang: Universitas Andalas
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan
- Putra, H. S. A., Ma'rufi, I., dan Ellyke. 2022. Sisa Klor Yang Memenuhi Batas Aman Dapat Membunuh Mikroorganisme Patogen Di Lingkungan Air Sehingga Melindungi Sumber Air Dan Ekosistem. *Jurnal Pustaka Kesehatan*. Vol. 10. No. 2
- Ramadhan, A. I., Dan Ratni, N. J. A. R., 2021. Analisa Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi Pdam Kabupaten Bantul Dengan Epanet 2.0. *Jurnal Envirousvol* 1 No 2
- Ramadhan, Ahmad Rizky. 2024. Gambaran Sisa Klor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Pengguna Kolam Renang Umum Di Sleman Tahun 2024. Yogyakarta: Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan
- Safa, E. M., Dan Sulistyorini, L. 2024. Gambaran Proses Pengolahan dan Kualitas Air Minum pada Sumber Karang Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. *Media Gizi Kesmas*, Vol. 13, No. 2, December 2024: 621-632
- Said, N. I. (2007). Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Kementerian*, 3(1).
- Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, C. (2015). Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas Di Jaringan Distribusi Ipa Sungai Lulut Pdam Bandarmasih. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 33–52.
- Sofia, E., Dan Riduan, R. (2017). Evaluasi Dan Analisis Pola Sebaran Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi Ipa Sungai Lulut Pdam Bandarmasih. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(2).