

Analisis Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor Pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa)

Vira Kallista¹, Winardi¹, dan Govira Christiadora Asbanu¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura; e-mail: virakallista17@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu perusahaan daerah yang bergerak dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Pontianak adalah PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa. Air olahan PDAM umumnya melalui proses disinfeksi, PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa menggunakan natrium hipoklorit (NaOCl) dan gas klor (Cl₂) sebagai disinfektan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis sisa klor pada air olahan yang terdapat di *reservoir* IPA Imam Bonjol dan sambungan rumah pelanggan, menganalisis pengaruh parameter warna, kekeruhan, pH suhu, jarak, dan *total coliform* terhadap sisa klor, dan membandingkan efektivitas penggunaan elektroklorinasi dan gas klor pada proses disinfeksi air minum IPA Imam Bonjol. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif komparatif dengan pendekatan kuantitatif dan teknik sampling yang digunakan adalah *purposive sampling* pada *reservoir* dan 10 titik rumah pelanggan. Penelitian ini dilakukan simulasi data eksisting menggunakan data eksisting dengan program EPANET 2.0. Analisis data juga dilakukan dengan cara univariat dan bivariat, menunjukkan bahwa sisa klor pada jaringan distribusi IPA 1 dan IPA 3 terendah 0,02 mg/l pada titik sampling terjauh dan tertinggi 0,41 mg/l pada titik sampling terdekat dari IPA. Sedangkan pada jaringan distribusi IPA 2 terendah 0,02 mg/l pada titik terjauh sampling dan tertinggi 0,33 mg/l pada titik sampling terdekat dari unit pengolahan. Hasil uji korelasi menunjukkan hubungan sisa klor terhadap warna, kekeruhan, pH, suhu, jarak dan *total coliform* jaringan distribusi IPA Imam Bonjol. Penggunaan disinfektan yang efektif terhadap penurunan jumlah *total coliform* dan sisa klor adalah gas klor, dengan jumlah *total coliform* 0 MPN/100 ml dan sisa klor 0,02 mg/l.

Kata kunci: Disinfektan, Elektroklorinasi, EPANET 2,0, Gas Klor, Sisa Klor

ABSTRACT

One of the regional companies engaged in providing clean water for the people of Pontianak City is PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa. PDAM treated water generally goes through a disinfection process, PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa uses sodium hypochlorite (NaOCl) and chlorine gas (Cl₂) as a disinfectant. The purpose of this study was to analyze residual chlorine in treated water contained in the Imam Bonjol WTP reservoir and customer house connections, analyze the effect of parameters of color, turbidity, pH temperature, distance, and total coliform on residual chlorine, and compare the effectiveness of using electrochlorination and chlorine gas. The method used in this study is descriptive comparative with a quantitative approach and the sampling technique used is purposive sampling at the reservoir and 10 points of the customer's house. This research was carried out by simulating existing data using the EPANET 2.0 program. Data analysis was also carried out using univariate and bivariate methods, showing that the residual chlorine in the distribution network of WTP 1 and WTP 3 was the lowest at 0.02 mg/l at the farthest sampling point and the highest was 0.41 mg/l at the nearest sampling point from the WTP. While in the distribution network of WTP 2, the lowest was 0.02 mg/l at the farthest sampling point and the highest was 0.33 mg/l at the nearest sampling point from the water treatment. The results of the correlation test showed the relationship of residual chlorine to colour, turbidity, pH, temperature, distance and total coliform in the distribution network of the Imam Bonjol Water Treatment. The use of disinfectant that is effective in reducing the amount of total coliform and residual chlorine is chlorine gas, with an amount of total coliform of 0 MPN/100 ml and residual chlorine of 0.02 mg/l.

Keywords: Disinfectants, Electrochlorination, EPANET 2.0, Chlorine Gas, Residual Chlorine

Citation: Kallista, V., Winardi., dan Asbanu, G. C. (2023). Analisis Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor Pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2),268-278, doi:10.14710/jil.21.2.268-278

1. Pendahuluan

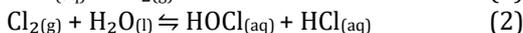
Air merupakan sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia. Ketersediaan sumber daya air harus terjamin kualitas, kuantitas, dan kontinuitasnya karena pengelolaan sumber daya air merupakan aspek yang penting (Ginanjar, Setiani, & Yunita, 2018). Air yang bersih sangat penting bagi kehidupan. Namun, mayoritas air saat ini banyak air yang tidak layak untuk dikonsumsi. Oleh karena itu, sistem penyediaan air bersih sangat diperlukan untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan menjadi salah satu faktor penentu kesehatan dan kesejahteraan manusia (Fadli, Mukhlis, & Lutfi, 2016).

Salah satu perusahaan daerah yang bergerak dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Pontianak adalah PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa. PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa menggunakan air baku dari air permukaan, yaitu Sungai Kapuas dan Sungai Landak. Cakupan daerah pelayanan PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa meliputi Kecamatan Pontianak Kota dan Kecamatan Pontianak Barat sebanyak 57.464 Sambungan Rumah (SR), Kecamatan Pontianak Selatan dan Kecamatan Pontianak Tenggara sebanyak 36.972 SR, serta Kecamatan Pontianak Utara dan Kecamatan Pontianak Timur sebanyak 40.692 SR (BPS, 2020).

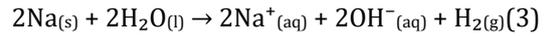
Disinfeksi digunakan dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan bahaya mikroorganisme patogen di dalam air baku terhadap penggunaan air (Bernadet, 2020). Penggunaan klorin sebagai disinfektan sangat efektif. Namun, jika sumber air mengandung konsentrasi mikroorganisme patogen yang lebih tinggi akan bereaksi dengan klorin, sehingga air tersebut menghasilkan bahan kimia di dalam pipa, yang disebut sebagai produk sampingan disinfeksi (Masduqi & Abdu F, 2016). Dalam sistem pengolahan air, klorin juga cepat habis. Pada saat air mencapai titik distribusi terjauh, klorin yang tersisa tidak cukup untuk memusnahkan mikroorganisme patogen.

PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa menggunakan natrium hipoklorit (NaOCl) yang diproduksi melalui proses elektroklorinasi, dan gas klor (Cl_2) sebagai disinfektan. Penggunaan teknologi elektroklorinasi hanya pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) 2, sedangkan gas klor (Cl_2) digunakan pada IPA 1, IPA 3, IPA 4, dan IPA 5. Elektroklorinasi merupakan teknik yang digunakan untuk menghasilkan natrium hipoklorit cair secara *in situ* dari larutan natrium klorida (Esposto, 2009). Prinsip kerja elektroklorinasi adalah proses elektrolisis air laut atau air asin yang dialiri oleh arus listrik searah (DC) untuk menghasilkan ion Na^+ dan Cl^- . Berikut persamaan reaksi pembentukan natrium hipoklorit (Armstrong, et al., 2015):

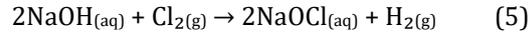
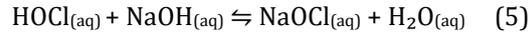
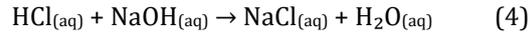
Anoda:



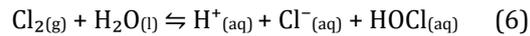
Katoda:



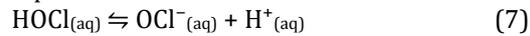
Sehingga hasil reaksinya adalah:



Gas klor merupakan disinfektan berbentuk gas yang dikemas dalam silinder aluminium bertekanan dengan kapasitas 50 – 70 kg. Karena murah, mudah digunakan, dan efektif, gas klor menjadi pilihan utama dalam proses disinfeksi air bersih (Sara, 2018). Berikut reaksi hidrolisis yang akan terjadi ketika gas klor dilarutkan dalam air:



Persamaan berikut dihasilkan dari penguraian asam hipoklorit:



PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa rutin melakukan pemeriksaan kualitas air pelanggan setiap satu bulan sekali. Berdasarkan hasil pemeriksaan tersebut, terdapat beberapa titik yang memiliki kadar sisa klor sebesar 0,1 mg/L. Sisa klor berdampak langsung pada jumlah bakteri *coliform* dalam air, kada sisa klor yang tepat sangat penting untuk memastikan konsumen menerima air dengan kualitas air yang baik (Widiastuti, 2017). Sisa klor adalah konsentrasi klor yang tersisa setelah proses disinfeksi (Soemirat, 2002). Kadar sisa klor pada jaringan distribusi tersebut tidak memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum, yaitu maksimal 1 mg/l pada *outlet reservoir* dan minimal 0,2 mg/l pada titik terjauh distribusi.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis sisa klor pada air olahan yang terdapat di *reservoir* IPA Imam Bonjol dan sambungan rumah pelanggan, menganalisis pengaruh parameter warna, kekeruhan, pH suhu, jarak, dan *total coliform* terhadap sisa klor, dan membandingkan efektivitas penggunaan elektroklorinasi dan gas klor pada proses disinfeksi air minum IPA Imam Bonjol.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel air di *reservoir* IPA 1 dan IPA 3, *reservoir* IPA 2, dan rumah pelanggan IPA Imam Bonjol PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa. Pengukuran parameter sisa klor, pH, kekeruhan, dan warna dilakukan di Laboratorium PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa, sedangkan pemeriksaan parameter *total coliform* dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Gambaran lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber: Google Earth

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1 Proses Elektroklorinasi

Unit IPA 2 PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa menggunakan disinfektan natrium hipoklorit. Natrium hipoklorit (NaOCl) dihasilkan dari proses elektrolisis larutan garam. Pada proses elektroklorinasi menggunakan garam industri hingga 300 kg/hari, injeksi air bersih 350 L/jam, dan arus yang digunakan dalam proses elektrolisis sebesar 424 A. Larutan natrium hipoklorit yang dihasilkan dari proses elektrolisis memiliki konsentrasi 5 – 6 g/L dan dosis NaOCl yang diinjeksi adalah 1 – 2 mg/L.

2.2.2 Proses Penggunaan Gas Klor

Unit IPA 1 dan IPA 3, IPA 4 dan IPA 5 menggunakan gas klor (Cl_2) sebagai disinfektan. Konsentrasi pembubuhan gas klor pada IPA (Instalasi Pengolahan Air) didasarkan pada kualitas air baku dan air sediment, tanpa adanya perhitungan yang akurat. Proses injeksi gas klor dilakukan dengan cara gas dialirkan dari tempat penyimpanan dengan diberikan panas pada suhu tertentu untuk proses penguapan. Pada pelaksanaannya, suhu 20°C mampu membubuhkan 10 kg/jam. Dosis gas klor yang digunakan adalah 0,0014 kg/detik atau 1,40 g/detik dengan kadar murni 99% (Novitasari dkk, 2013).

2.2.3 Pengukuran Kadar Sisa Klor

Pengukuran sisa klor menggunakan indikator DPD (N,N - dietil - p - fenilendiamin sulfat) yang mengubah warna larutan sampel air yang mengandung klorin menjadi rona magenta. Sebagai blanko, 10 mL sampel ditempatkan dalam *cuvet* dan dimasukkan ke dalam *HACH Pocket Colorimeter* untuk pengukuran. Setelah itu, indikator DPD dan sampel air dihomogenkan dengan cara dikocok, kemudian dimasukkan pada *HACH Pocket Colorimeter* dan diamati nilai sisa klor yang tertera pada alat.

2.2.4 Pengukuran pH

Pengukuran pH menggunakan alat pH meter yang telah dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan *buffer* (penyangga) pH 4 dan pH 7. Pengukuran dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.11: 2019 tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) menggunakan pH meter.

2.2.5 Pengukuran Keekeruhan

Pengukuran nilai keekeruhan contoh uji dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.25: 2005 tentang Cara Uji Keekeruhan Dengan Nefelometer.

2.2.6 Pengukuran Warna

Pengukuran nilai warna contoh uji ditentukan dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 450 – 465 nm yang dilakukan menurut prinsip kerja SNI 6989.80: 2011 tentang Cara Uji Warna Secara Spektrofotometer.

2.2.7 Prosedur Pengambilan Sampel Air dalam Uji Mikrobiologi

Prosedur pengambilan sampel air untuk uji mikrobiologi dilakukan menurut SNI 19-2897-1992 tentang Cara Uji Cemar Mikroba.

2.2.8 Pengukuran Total Coliform

Prinsip dari penentuan angka bakteri *coliform* adalah adanya pertumbuhan bakteri *coliform* yang ditandai oleh adanya gas pada tabung Durham setelah diinkubasi pada media yang digunakan. Pengujian *total coliform* pada penelitian ini dilakukan dengan Uji MPN (*Most Probable Number*) menurut prinsip kerja SNI 19-2897-1992 tentang Cara Uji Cemar Mikroba.

2.3. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pelanggan PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa dari distribusi IPA Imam Bonjol. Sedangkan sampel pada penelitian hanya difokuskan pada pelanggan yang mendapatkan air disribusi dari IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa.

Sampel diambil sebanyak 10 pelanggan yang dipilih berdasarkan *purposive sampling*. Sampel diambil di kran milik pelanggan pada jarak 300 m, 600 m, 900 m, 1200 m, dan 1500 m.

2.4. Variabel Penelitian dan Analisis Data

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah warna, keekeruhan, pH, suhu, jarak dan *total coliform*. Variabel bebas adalah sisa klor. Analisis data menggunakan analisis univariat dan bivariat. Analisis bivariat yang digunakan adalah korelasi *product moment pearson* dengan tingkat signifikansi (α) = 0,05 dan tingkat kepercayaan 95%. Analisis sisa klor dilakukan menggunakan program EPANET 2.0.

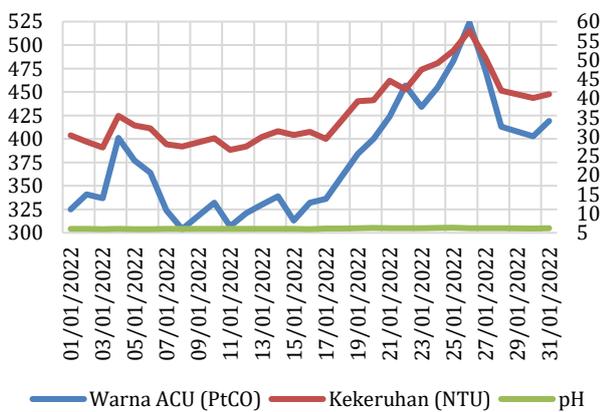
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kualitas Air Baku

Secara umum, setiap sumber air dapat digunakan sebagai air baku, namun kualitas air yang akan digunakan harus dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas air yang akan dimanfaatkan sebagai air baku. Hasil pemeriksaan akan dibandingkan dengan baku mutu yang dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Air dari Sungai Kapuas digunakan sebagai sumber air baku kebutuhan MCK (Mandi, Cuci, dan Kakus) oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa dan sebagian masyarakat yang bukan pelanggan PDAM. Warna, kekeruhan, dan jumlah *coliform* air baku yang digunakan PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa melebihi baku mutu air minum. Sebelum air disalurkan ke pelanggan, terlebih dahulu harus melalui proses pengolahan. Parameter kualitas fisik air Sungai Kapuas dipilih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

Hasil deskripsi data kualitas air baku PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa berdasarkan deret waktu (*time series data plot*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kualitas Air Baku PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa

Berdasarkan hasil analisis, warna air baku antara 304 – 524 PtCo dan nilai kekeruhan antara 26,6 – 57,6 NTU. Nilai tersebut melebihi baku mutu air Kelas I sebesar 15 PtCo untuk warna. Hasil pengukuran warna tertinggi pada tanggal 26 Januari 2022 sebesar 524 PtCo dan nilai kekeruhan tertinggi sebesar 57,6 NTU. Tingkat warna dan kekeruhan yang melebihi ambang batas dapat disebabkan karena kondisi alam (seperti banjir, erosi, dan tanah longsor), sampah yang dibuang langsung ke saluran air, dan limbah kota atau industri yang dibuang langsung ke sungai (Pramessti & Puspikawati, 2020). Warna dan kekeruhan air disebabkan oleh partikel-partikel kecil dan koloid yang berasal dari tanah dan bahan organik.

pH air baku Sungai Kapuas bervariasi dari 5,95 hingga 6,33, menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran 1, pH air Sungai Kapuas berada dalam batas baku mutu air Kelas I. pH badan air ditentukan oleh konsentrasi karbon dioksida (CO_2) dan senyawa asam dan basa. Selain itu, nilai pH dipengaruhi oleh aktivitas biologis seperti fotosintesis dan respirasi mikroorganisme, suhu, dan ion-ion yang terkandung di perairan (Rukminzari dkk, 2014). Rendahnya nilai pH pada hasil pengukuran dipengaruhi oleh kondisi

lingkungan Kota Pontianak yang merupakan daerah berawa yang memiliki jenis tanah gambut. Tanah gambut mengandung asam humat yang menyebabkan derajat keasaman air cenderung rendah atau asam.

Coliform adalah golongan mikroorganisme yang digunakan sebagai indikator tercemar atau tidaknya air oleh bakteri patogen (Widyaningsih dkk, 2016). Jumlah *total coliform* pada air baku adalah 920 MPN/100 mL, konsentrasi ini masih memenuhi kriteria mutu air Kelas I yaitu 1000 MPN/100 mL.

Kontaminasi oleh bakteri *coliform* pada air dapat berasal dari limbah domestik maupun limbah pabrik yang dibuang langsung ke sungai, sampah yang dibuang langsung ke badan air, aktivitas manusia yang ada disekitar Sungai Kapuas, dan kepadatan penduduk. Kepadatan penduduk menyebabkan lahan lebih banyak digunakan sebagai permukiman dan pembangunan, sehingga jarak antar rumah semakin dekat. Tingginya aktivitas penduduk berjalan lurus dengan banyaknya limbah domestik yang dihasilkan sehingga semakin besar dampak atau pencemaran yang ditimbulkan dan berdampak terhadap kualitas air baku. Bakteri *coliform* masuk ke perairan melalui aliran sungai dan limpasan air hujan sehingga konsentrasi bakteri akan semakin tinggi pada saat hujan.

3.2. Kualitas Air Olahan

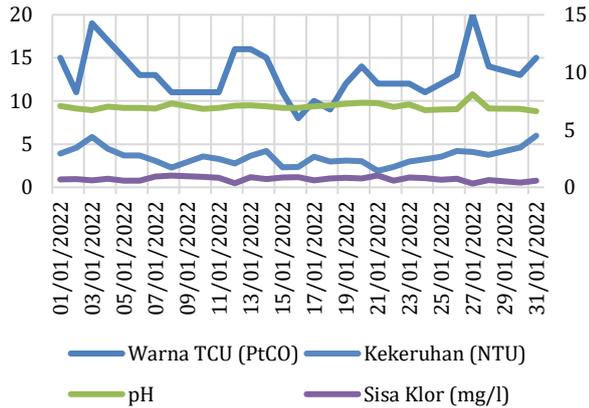
Data kualitas air olahan yang digunakan dalam analisis ini berasal dari Laboratorium PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa dengan panjang data 1 – 31 Januari 2022. Hasil penggambaran data kualitas air olahan IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 berdasarkan deret waktu disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Warna adalah salah satu parameter yang penting untuk dianalisis dalam mengetahui kualitas air. Warna pada air mengindikasikan adanya kandungan besi dan mangan, zat organik, dan limbah industri. Hasil analisis parameter warna diukur menggunakan skala TCU (*True Color Unit*) dengan standar baku mutu untuk air minum maksimal 15 TCU atau 15 PtCo. Pada hasil pengukuran warna air olahan IPA 1 dan IPA 3 tertinggi yaitu 20 PtCO pada 27 Januari 2022, sedangkan warna air olahan IPA 2 tertinggi yaitu 37 PtCO pada 1 Januari 2022.

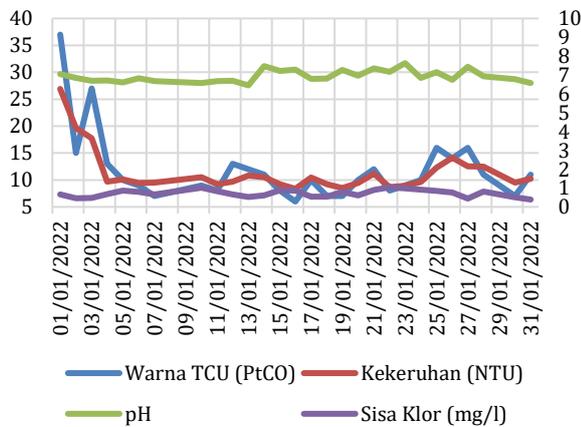
Kekeruhan menggambarkan banyaknya zat tersuspensi disuatu perairan (Suhendar, Sachoemar, & Zaidy, 2020). Kekeruhan dapat disebabkan dari berbagai jenis material tersuspensi, jika semakin banyak material yang tersuspensi di dalam air, maka air semakin terlihat keruh. Kekeruhan pada air minum tidak boleh lebih dari 5 NTU. Hasil analisis kualitas air olahan IPA 1 dan IPA 3 pada parameter kekeruhan secara keseluruhan kurang dari 5 NTU, sedangkan hasil analisis kualitas air IPA 2 terhadap parameter kekeruhan sebagian besar sudah memenuhi standar baku mutu. Pada keadaan tertentu kekeruhan air olahan tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas air Minum. Nilai kekeruhan yang tinggi dapat

menurunkan efektivitas proses disinfeksi karena padatan yang terkandung dalam air dapat melindungi mikroorganisme dari disinfektan (Joko, 2010).

Berdasarkan hasil analisis pengukuran pH yang dilakukan di Laboratorium PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa menunjukkan bahwa pH air hasil olahan IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 berada pada rentang standar baku mutu air minum, yaitu 6,5 – 8,5. Penentuan pH sangat penting saat proses penjernihan air karena tingkat keasaman air disebabkan oleh gas oksida yang terlarut pada air terutama karbon dioksida.



Gambar 3. Grafik Kualitas Air Olahan IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol



Gambar 4. Grafik Kualitas Air Olahan IPA 2 Imam Bonjol

Berdasarkan hasil analisis kadar sisa klor berada pada rentang baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum, yaitu 0,2 – 1 mg/L. Pada kondisi tertentu sisa klor pada air olahan tidak berada pada rentang baku mutu yang ditetapkan. Hal ini disebabkan karena selama proses klorinasi, klor akan direduksi sampai menjadi klorida yang tidak mempunyai kemampuan untuk mengurangi mikroorganisme patogen di dalam air, selain itu lama waktu penyimpanan air juga dapat berpengaruh terhadap sisa klor yang terkandung di dalam air.

3.3. Kualitas Air Pelanggan

Hasil pengukuran kualitas air pelanggan IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 Imam Bonjol PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa yang memiliki jarak sampling terdekat dari instalasi 300 m dan jarak terjauh sampling yaitu 1500 m dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Kualitas Air Pelanggan IPA 1 dan IPA 3

Jarak dari Instalasi (m)	Warna (PtCO)	Kekeruhan (NTU)	pH	Suhu (°C)	Sisa Klor (mg/L)
300	8	0,72	7,36	30,6	0,41
600	18	1,79	7,07	30,9	0,17
900	24	2,24	7,14	30,9	0,18
1200	25	2,33	7,12	31,0	0,11
1500	30	2,70	6,97	31,2	0,02

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 2. Data Kualitas Air Pelanggan IPA 2

Jarak dari Instalasi (m)	Warna (PtCO)	Kekeruhan (NTU)	pH	Suhu (°C)	Sisa Klor (mg/L)
300	26	1,82	6,69	27,8	0,33
600	26	1,77	6,72	27,9	0,33
900	25	2,30	6,72	27,9	0,33
1200	25	2,32	6,65	27,8	0,12
1500	10	1,14	6,70	27,9	0,02

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Pada titik terjauh sampling dilakukan analisis kandungan *total coliform* pada air pelanggan IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2. Hasil analisis kandungan *total coliform* pada air pelanggan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Analisis Kandungan Total Coliform Pada Air Pelanggan IPA 1 dan IPA 3

Jarak dari Instalasi (m)	Total Coliform (MPN/100 mL)	Baku Mutu Air Minum*
1500	0	0

*Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 4. Hasil Analisis Kandungan Total Coliform Pada Air Pelanggan IPA 2

Jarak dari Instalasi (m)	Total Coliform (MPN/100 mL)	Baku Mutu Air Minum*
1500	1	0

*Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Berdasarkan hasil korelasi parameter warna dan sisa klor, nilai korelasi pearson pada IPA 1 dan IPA 3 sebesar 0,961 yang artinya variabel terikat berpengaruh terhadap sisa klor dan nilai korelasi pearson pada IPA 2 sebesar 0,809 yang berarti variabel terikat tidak berpengaruh terhadap sisa klor. Pada pengukuran parameter warna air pelanggan menggunakan skala ACU (*Apparent Color Unit*) atau

warna semu. Warna semu ialah warna keseluruhan sampel air yang terdiri atas komponen terlarut dan tersuspensi. Warna air ditimbulkan oleh adanya pembusukan bahan organik, ion-ion (besi dan mangan), plankton, humus, limbah industri dan lain-lain (Bernadet, 2020).

Tabel 5. Hasil Analisis Korelasi Air Pelanggan IPA 1 dan IPA 3 Terhadap Sisa Klor

Parameter	Nilai Korelasi Pearson	Keterangan
Warna	-0,961	Terdapat Hubungan
Kekeruhan	-0,970	Terdapat Hubungan
pH	0,963	Terdapat Hubungan
Suhu	-0,988	Terdapat Hubungan
Jarak	-0,919	Terdapat Hubungan
<i>Total coliform</i>	. ^a	-

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 6. Hasil Analisis Korelasi Air Pelanggan IPA 2 Terhadap Sisa Klor

Parameter	Nilai Korelasi Pearson	Keterangan
Warna	0,809	Tidak Ada Hubungan
Kekeruhan	0,465	Tidak Ada Hubungan
pH	0,498	Tidak Ada Hubungan
Suhu	0,006	Tidak Ada Hubungan
Jarak	-0,894	Terdapat Hubungan
<i>Total coliform</i>	0,707	Tidak Ada Hubungan

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Hasil analisis kualitas air pelanggan IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol, pada titik sampling 300 m dari instalasi memiliki nilai warna 8 PtCo dengan sisa klor 0,41 mg/L dan titik sampling 1500 m dari instalasi memiliki nilai warna 30 PtCo dengan sisa klor 0,02 mg/L. Sedangkan, pada analisis kualitas air pelanggan IPA 2, titik sampling 300 m memiliki nilai warna 26 PtCo dengan sisa klor 0,33 mg/L dan pada titik sampling 1500 m memiliki nilai warna 10 PtCo dengan sisa klor 0,02 mg/L. Semakin besar konsentrasi penambahan disinfektan pada sampel air, maka warna air juga akan berkurang (Lindu dkk, 2010).

Perbedaan hasil analisis disebabkan oleh kualitas air olahan yang berbeda antara IPA 1 dan IPA 3, dan IPA 2. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 diketahui bahwa nilai parameter warna pada IPA 2 lebih tinggi dibandingkan IPA 1 dan IPA 3, semakin besar nilai warna maka konsentrasi disinfektan yang diperlukan semakin besar. Perbedaan nilai warna dan sisa klor pada kedua jaringan distribusi tersebut disebabkan oleh kondisi perpipaan yang berbeda, sehingga menurunkan efektivitas disinfektan. Senyawa klor dapat mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+}

dan Mn^{2+} menjadi Mn^{3+} , serta memecah zat organik (Yusuf & Ginting, 2019). Selama proses tersebut klor direduksi sehingga menjadi klorida yang tidak memiliki daya disinfeksi.

Kekeruhan terdiri dari partikel-partikel kecil yang tersuspensi di dalam kolom air. Kekeruhan merupakan parameter penting dalam air minum karena bakteri, virus, dan parasit dapat menempel pada partikel tersuspensi, selain itu partikel yang terkandung di dalam air dapat mengganggu proses disinfeksi dengan cara melindungi kontaminan dari disinfektan. Secara khusus, kekeruhan dapat berfungsi sebagai pembawa nutrisi yang dapat meningkatkan aktivitas biologis yang menyebabkan kualitas air yang dihasilkan menurun dan menjadi matrik yang membawa mikroorganisme patogen atau memasukkan organisme ke dalam sistem.

Berdasarkan hasil pengukuran kualitas air pelanggan yang telah dilakukan terhadap kekeruhan pada kelima titik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, diperoleh nilai kekeruhan dari jaringan distribusi IPA 1 dan IPA 3 pada titik sampling terdekat (300 m) yaitu 0,72 NTU dengan sisa klor 0,41 mg/L dan pada titik sampling terjauh (1500 m) yaitu 2,70 NTU memiliki sisa klor 0,02 mg/L. Pada jaringan distribusi IPA 2 pada jarak 300 m memiliki nilai kekeruhan 1,82 NTU dengan sisa klor 0,33 mg/L dan pada jarak 1500 m memiliki nilai kekeruhan 1,14 NTU memiliki sisa klor 0,02 mg/L. Nilai kekeruhan pada sampel air pelanggan dipengaruhi oleh kondisi air olahan dan kondisi perpipaan pelanggan. Kekeruhan yang tinggi dalam sistem distribusi air dapat disebabkan oleh proses penghilangan partikel tersuspensi yang tidak sempurna selama pengolahan, dari jenis atau bahan pipa yang digunakan pada jaringan distribusi, dan perbaikan jaringan perpipaan. Tingginya kekeruhan dan rendahnya sisa klor pada jaringan distribusi dapat juga disebabkan oleh umur pipa yang sudah tua, sehingga dapat mengakibatkan penurunan sisa klor dan peningkatan kekeruhan.

Pada penelitian Lechavallier, Evans, & Seidler (1981), hubungan antara kekeruhan dengan efisiensi disinfeksi klorin ditentukan dengan mengukur penurunan jumlah *coliform* pada nilai kekeruhan yang berbeda dan konsentrasi penambahan klorin yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *coliform* di dalam air dengan kekeruhan tinggi (13 NTU) berkurang menjadi 20% dari jumlah awal, sedangkan *coliform* pada air dengan kekeruhan rendah (1,5 NTU) tidak dapat terdeteksi. Efisiensi disinfeksi diukur dengan \log_{10} dari penurunan jumlah *coliform* dan memiliki korelasi negatif dengan kekeruhan.

Korelasi positif antara kebutuhan klorin dan kekeruhan menunjukkan bahwa kekeruhan dan TOC (*Total Organic Carbon*) yang terkait berpotensi mempengaruhi kandungan klorin bebas dalam sistem distribusi dan mengandung material organik yang akan mengurangi sisa klor dalam sistem distribusi. Nilai pH dipengaruhi oleh kondisi air hasil olahan, kondisi jaringan perpipaan, dan daya kerja klor.

Kondisi pH yang netral dapat mendukung proses disinfeksi yang efektif. Tujuan dari pengontrolan pH dalam instalasi air minum adalah untuk mengendalikan korosi pada pipa dalam jaringan distribusi dan untuk mencegah terjadinya pelarutan logam berat (Slamet, 2007).

Pada hasil pengukuran sisa klor pada jaringan distribusi IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Asryadin (2012) yang menyatakan bahwa sisa klor akan semakin menurun seiring dengan naiknya pH. Berdasarkan hasil pengukuran sisa klor sebesar 0,45 mg/L pada kondisi pH 7,67 hingga sisa klor sebesar 0,09 mg/L pada pH sebesar 8,58. pH yang terukur pada masing-masing titik sampling tidak ada perbedaan yang cukup signifikan. Variasi nilai pH air tidak hanya dipengaruhi oleh jarak tempuh distribusi dalam sistem perpipaan. Perubahan pH yang terjadi dapat disebabkan oleh adanya kerusakan pada pipa distribusi sehingga memungkinkan suplai air dari luar yang dapat menyebabkan pencemaran air dan meningkatkan jumlah serta aktivitas mikroorganisme dalam proses metabolismenya sehingga memberi dampak terhadap perubahan pH (Triatmadja, 2006).

Air yang baik harus memiliki suhu yang sama dengan udara di sekitarnya dengan rentang batas ± 3 dari suhu udara. Sisa klor memiliki sifat yang sangat aktif namun tidak stabil, sehingga mudah menguap selama proses distribusi. Suhu air yang sangat tinggi dapat meningkatkan laju peluruhan klor, sehingga konsentrasi klor di dalam akan semakin berkurang.

Hasil pengukuran suhu yang didapatkan pada lokasi pengambilan sampel tidak terlalu belfluktuasi. Nilai suhu rata-rata pada wilayah pelayanan IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol berkisar antara 30,6°C – 31,2°C, berdasarkan pengukuran suhu air di beberapa titik mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya jarak tempuh, namun peningkatan ini tidak begitu signifikan.

Pada wilayah pelayanan IPA 2 Imam Bonjol memiliki nilai suhu rata-rata 27,8°C – 27,9°C, hasil pemeriksaan suhu air menunjukkan bahwa setiap jarak tempuh air memiliki suhu yang relatif konstan. Kondisi lingkungan fisik selama proses distribusi air berbeda-beda pada setiap pelanggan juga ikut berpengaruh terhadap kenaikan atau penurunan suhu air. Hal ini disebabkan oleh suhu wilayah Kota Pontianak pada saat pengukuran tidak terlalu ekstrim sehingga intensitas sinar matahari yang masuk pada jaringan distribusi cenderung sama.

Pengukuran di lapangan seperti yang disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hermiyanti & Wulandari (2017), yang menyatakan bahwa pada jaringan distribusi PDAM Kota Surabaya diperoleh hasil yang tidak signifikan, namun peningkatan suhu menyebabkan sisa klor pada jaringan distribusi berkurang. Hasil pengukuran suhu air 30°C menghasilkan kadar sisa klor sebesar 0,5 mg/L, namun pada suhu 32°C kadar sisa klor turun menjadi 0,1 mg/L. Sehingga sisa klor pada jaringan distribusi menjadi tidak memenuhi

persyaratan air minum, sehingga kurang efektif pada proses disinfeksi. Peningkatan suhu air menyebabkan penurunan efektivitas disinfektan karena penurunan konsentrasi asam hipoklorit (Achmit, et al., 2018).

Peningkatan suhu dapat terjadi akibat dari distribusi air melalui perpipaan yang kurang baik dan dapat disebabkan oleh udara di sekitar pada pipa distribusi air. Jenis pipa yang digunakan oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa yaitu DCIP (*Ductile Cast Iron Pipe*) dan GIP (*Galvanized Iron Pipe*). DCIP adalah pipa baja yang dilindungi dengan lapisan mortar, sedangkan GIP ialah jenis pipa baja yang dilapisi oleh besi. Kedua jenis pipa tersebut rentan terhadap korosi, yang kemungkinan besar akan mengakibatkan polusi sekunder di air minum (Zhou dkk, 2009).

Meningkatnya suhu menyebabkan nilai koefisien *bulk* meningkat, sehingga peluruhan klor semakin besar dan kadar klor semakin berkurang di jaringan distribusi (Lisna, 2021). Selain itu, suhu juga akan mempengaruhi kecepatan reaksi redoks klor dengan beberapa logam di dalam air. Kenaikan suhu akan menyebabkan reaksi redoks menjadi semakin cepat. Hal ini juga akan menyebabkan konsentrasi klor semakin kecil pada jaringan perpipaan air (Gunawan, 2020). Pada penelitian Fisher dkk (2012) tentang pengaruh suhu terhadap peluruhan sisa klor, menunjukkan bahwa peluruhan sisa klor semakin cepat seiring dengan meningkatnya suhu. Proses pemanasan yang lama akan mengakibatkan klor semakin cepat luruh (Liu dkk, 2014).

Konsentrasi klor yang besar pada saat diinjeksi menyebabkan sisa klor yang diterima oleh pelanggan juga besar. Sisa klor semakin berkurang seiring dengan semakin jauhnya jarak antara instalasi pengolahan air dengan rumah pelanggan. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengukuran sisa klor di rumah pelanggan IPA Imam Bonjol yang disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2, dari tabel tersebut diperoleh sisa klor pada jarak sampling terdekat dari IPA 1 dan IPA 3 yaitu 0,41 mg/L, sedangkan pada rumah pelanggan terdekat dari IPA 2 sebesar 0,33 mg/L. Sisa klor pada jarak sampling terjauh dari IPA 1 dan IPA 3 serta IPA 2 sama, yaitu 0,02 mg/L.

Pada pengukuran sisa klor di rumah pelanggan IPA Imam Bonjol, terdapat hasil yang memiliki sisa klor pada jarak yang lebih jauh nilainya tidak berubah. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi dan jenis pipa, serta kondisi lingkungan. Sisa klor di dalam sistem perpipaan bereaksi dengan komponen yang terlarut atau terkandung di dalam air sampai habis terpakai (Harahap, 2019; Syahputra, 2012).

Penelitian ini menguji keberadaan *total coliform* menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN) dengan suhu inkubasi 36°C. Setelah dilakukan pemeriksaan diperoleh keberadaan *total coliform* pada jarak sampling 1500 m di wilayah distribusi IPA2 Imam Bonjol, sedangkan pada wilayah distribusi IPA 1 dan IPA 3 telah memenuhi persyaratan kualitas air minum. Tidak adanya bakteri *total coliform* pada sampel air distribusi IPA 1 dan IPA 3 menunjukkan

optimalnya proses disinfeksi pada pengolahan air minum.

Keberadaan *total coliform* pada jaringan distribusi PDAM sangat mungkin, hal ini disebabkan oleh masuknya mikroorganisme ketika proses perawatan, masuknya air tanah yang terkontaminasi ke dalam pipa ketika tekanan pada jaringan distribusi sedang menurun, kontaminasi ketika masih berada di instalasi utama atau arus balik dari sistem keran konsumen, dan adanya mikroorganisme patogen dalam bentuk bebas ataupun dalam bentuk *biofilm* yang masuk ke dalam sistem distribusi (Aulya dkk, 2020).

3.4. Analisis Program EPANET

Hasil simulasi pola sebaran sisa klor yang disajikan dalam EPANET dapat dilihat untuk setiap *link* dan *node* pada jam 10.00, seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6. Berbagai warna mewakili konsentrasi klorin yang bervariasi pada waktu tertentu. Rentang sisa klor yang digunakan pada simulasi ini adalah 0,2 – 1 mg/l.

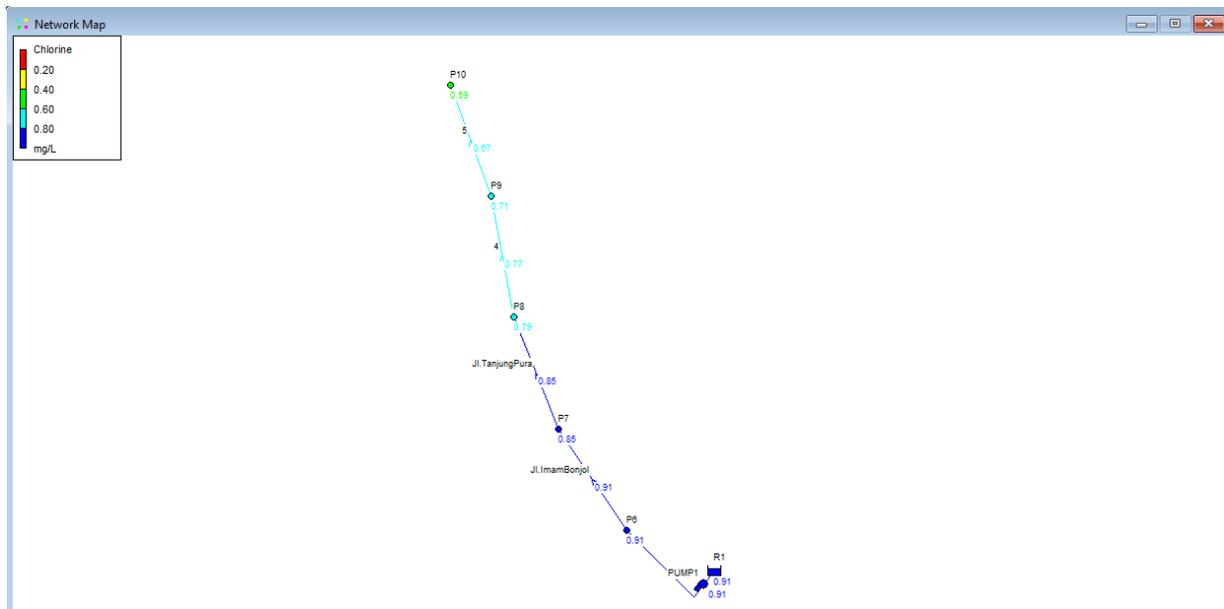
Dapat dilihat pada Gambar 5, simulasi pola sebaran sisa klor pada jam 10.00 di wilayah distribusi IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol sudah menyebar secara merata, semua titik sampel sesuai dengan baku mutu. Nilai sisa klor pada jaringan distribusi IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol berkisar antara 0,59 – 0,91 mg/L.

Gambar 6 merupakan jaringan distribusi IPA 2 Imam Bonjol. Pada hasil simulasi tersebut dapat

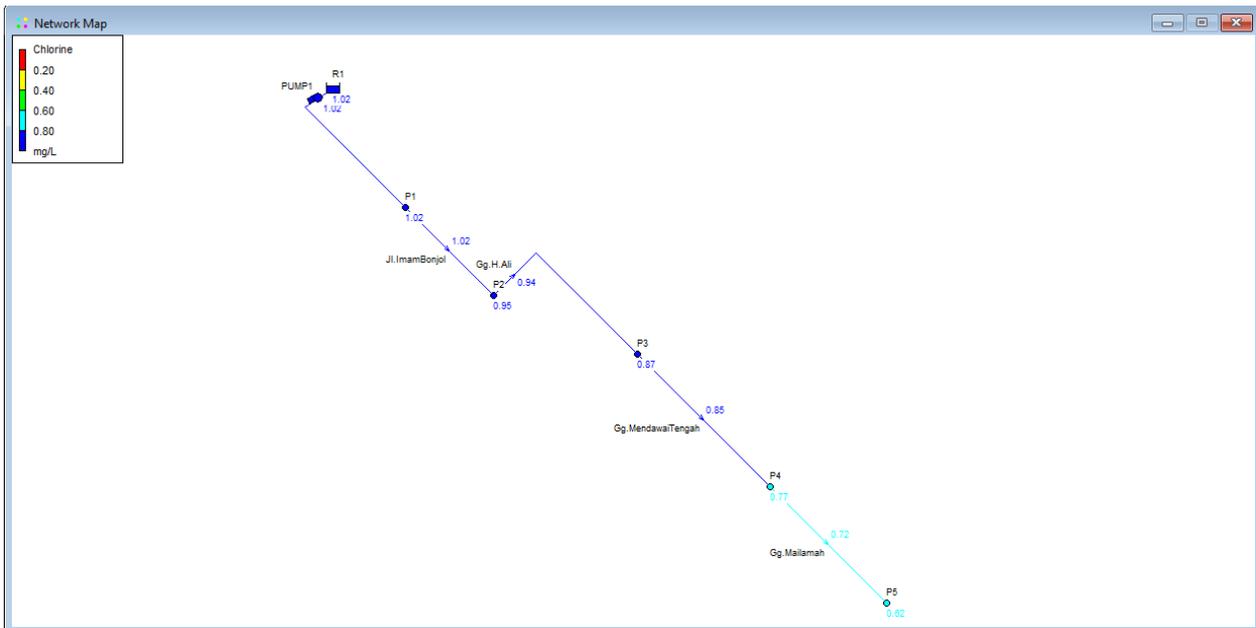
dilihat bahwa warna *node* dan *link* menunjukkan warna biru tua dan biru muda. Warna biru tua yang berarti konsentrasi sisa klor > 1,00 mg/L dan warna biru muda berarti konsentrasi sisa klor berkisar antara 0,60 – 0,80 mg/L.

Ukuran pipa yang digunakan pada simulasi sebesar 100 mm sesuai dengan ukuran pipa di lapangan, sehingga nilai sisa klor yang dihasilkan cukup tinggi karena tekanan pada pipa tidak begitu besar. Tinggi dan rendahnya nilai sisa klor pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh diameter pipa yang digunakan (Anggraini, Riduan, & Firmansyah, 2016). Semakin kecil diameter pipa, maka semakin besar tekanan yang dihasilkan. Tekanan yang besar dapat menyebabkan penurunan sisa klor di dalam air.

Dari hasil simulasi sebaran sisa klor dapat disimpulkan bahwa sisa klor yang berada di jaringan distribusi bergantung pada injeksi konsentrasi klor di *reservoir*, jarak distribusi air dari *reservoir* menuju pelanggan, dan waktu injeksi. Semakin besar injeksi klor, maka semakin besar sisa klor yang diterima oleh pelanggan. Semakin jauh jarak distribusi air dari *reservoir* menuju pelanggan, maka semakin kecil sisa klor yang sampai ke pelanggan. Sehingga perlu dilakukannya simulasi sebaran sisa klor dengan konsentrasi tertentu, waktu injeksi yang tepat, dan titik injeksi klor tambahan agar klor yang sampai ke pelanggan tetap sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.



Gambar 5. Hasil Simulasi EPANET Jaringan Distribusi IPA 1 dan IPA 3 Imam Bonjol



Gambar 6. Hasil Simulasi EPANET Jaringan Distribusi IPA 2 Imam Bonjol

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengukuran yang telah dilakukan dan dianalisis didapat kesimpulan yaitu sisa klor air olahan IPA 2 lebih besar (1,02 mg/l) dibandingkan sisa klor air olahan IPA 1 dan IPA3 (0,91 mg/L). Sisa klor pada jaringan distribusi IPA 1 dan IPA 3 memiliki nilai lebih besar jika dibandingkan dengan sisa klor pada jaringan distribusi IPA 2. Perbedaan hasil pengukuran parameter warna, suhu, pH, sisa klor, dan *total coliform* dipengaruhi oleh kondisi kualitas air hasil olahan, dosis klor yang diinjeksikan, dan kualitas perpipaan yang digunakan pada jaringan distribusi. Penggunaan gas klor dinilai efektif karena pada titik sampling terjauh (1500 m) dengan sisa klor 0,02 mg/L tidak mengandung bakteri *total coliform* pada air pelanggan. Pada penelitian tidak dilakukan analisis pembubuhan kadar klor agar sisa klor yang berada di jaringan distribusi memenuhi rentang persyaratan yaitu 0,2 mg/L – 1 mg/L dan tidak dilakukan evaluasi tentang faktor yang mempengaruhi proses disinfeksi menggunakan elektroklorinasi.

DAFTAR PUSTAKA

Achmit, M., Machkor, M., Nawdali, M., Sbai, G., Karim, S., Aouniti, A., & Loukili, M. (2018). Study of the Influence of the Operating Parameters on the Fractions in HOCl and OCl During the Disinfection Phase. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Researcj*, 122-127.

Anggraini, W., Riduan, R., & Firmansyah, M. (2016). Evaluasi Sisa Klor Jaringan Distribusi Zona Air Minum Prima (ZAMP) PDAM Intan Banjar Menggunakan EPANET 2.0. *Jurnal Teknik Lingkungan*.

Armstrong, D. A., Huie, R. E., Koppenol, W. H., Lyman, S. V., Merenyi, G., Neta, P., . . . Wardman, P. (2015). Standard Electrode Potentials Involving Radicals in Aqueous Solution: Inorganic Radicals. *Pure App Chem*, 1139-1150.

Asryadin. (2012). Pengaruh Jarak Tempuh Air dari Unit Pengolahan 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*.

Aulya, W., Fadhiani, & Mardina, V. (2020). Analysis of Coliform and Colifecal Total Pollution Test on Various Types of Drinking Water Using The MPN (Most Probable Number) Method. *Serambi Journal of Agricultural Technologi*, 2(2), 64-72.

Bernadet. (2020). *Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air Untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalapanji Kabupaten Sidoarjo)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BPS. (2020). *Kota Pontianak dalam Angka 2020*. Pontianak: Badan Pusat Statistik Kota Pontianak.

Esposto, S. (2009). On-Site Electro-Chlorination Application For Water Treatment In North Iraq. *Water Science & Technology: Water Supply*, 387-393.

Fadli, M., Mukhlis, & Lutfi, M. (2016). *Hukum dan Kebijakan Lingkungan*. Malang: UB Press.

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 Research*, 3293-3303.

Ginangjar, W., Setiani, O., & Yunita, N. A. (2018). Hubungan Jarak Rumah Ke Instalasi Pengolahan Air Dengan Kadar Sisa Klor Pada Jaringan Distribusi IPA Pucang Gading PDAM Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 386-392.

Gunawan. (2020). *Analisis Konsentrasi Klor Aktif Pada Saluran Distribusi Air PDAM Kabupaten Buleleng*. Bali: Universitas Pendidikan Ganesha.

- Kallista, V., Winardi., dan Asbanu, G. C. (2023). Analisis Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor Pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 268-278, doi:10.14710/jil.21.2.269-278
- Harahap, I. H. (2019). *Analisis Jarak Distribusi Air Minum Dengan Sisa Chlor di Rumah Pelanggan PDAM Tirta Nadi Deli Tua Tahun 2018*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Hermiyanti, P., & Wulandari, E. T. (2017). Gambaran Sisa Klor dan MPN Coliform Jaringan Distribusi Air PDAM. *Jurnal Media Kesehatan*, 102-204.
- Joko, T. (2010). *Unit Produksi Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lechavallier, M. W., Evans, T. M., & Seidler, R. J. (1981). Effect of Turbidity on Chlorination Efficiency and Bacterial Persistence in Drinking Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 159-167.
- Lindu, M., Sumartono, A., & Ariani, S. J. (2010). Evaluasi Penggunaan Kaporit Untuk Penghilang Warna Air Sumur Dalam. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 87-96.
- Lisna, F. (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.
- 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 Research*, 47-57.
- Masduqi, A., & Abdu F, A. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air, Edisi Kedua*. Surabaya: ITS Press.
- Novitasari, R., Apriani, I., & Zahara, T. A. (2013). Evaluasi dan Optimalisasi Kinerja IPA I PDAM Kota Pontianak. *Jurnal Untan*, 1-10.
- Pramesti, D. S., & Puspikawati, S. I. (2020). Analisis Uji Kekeuhan Air Minum Dalam Kemasan Yang Beredar Di Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 75-85.
- Rukminzari, N., Nadiarti, & Awaluddin, K. (2014). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan Halimeda Sp. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 28-34.
- Said, N. I. (2007). Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia*, 10.
- Sara, R. C. (2018). *Kandungan Sisa Klor Bebas pada Kolam Renang Umum dan Gejala Iritasi Mata Serta Kulit di Kabupaten Jember Tahun 2018*. Jember: Universitas Jember.
- Slamet. (2007). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada Press.
- Soemirat. (2002). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Suhendar, D. T., Sachoemar, S. I., & Zaidy, A. B. (2020). Hubungan Kekeuhan Terhadap Materi Partikulat Tersuspensi (MPT) Dan Kekeuhan Terhadap Klorofil Dalam Tambak Udang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 332-338.
- Syahputra. (2012). *Analisis Sisa Chlor Pada Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Semarang*. Semarang: UNISSULA.
- Triatmadja, R. (2006). *Pra Analisa Pada Jaringan Pipa Untuk Meningkatkan Kecepatan Komputasi*. Yogyakarta: UGM.
- Widiastuti, S. (2017). *Hubungan Antara Jarak Perpipaan Distribusi Air PDAM Instalasi Kamijoro Bantul Dengan Sisa Klor dan Keberadaan Bakteri Coliform dan Escherichia Coli*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Widyaningsih, W., Supriharyono, & Widyorini, N. (2016). Analisis Total Bakteri Coliform Di Perairan Muara Kali Wisu Jepara. *Diponegoro Journal Of Maquares Management of Aquatic Resources*, 157-164.
- Yusuf, M., & Ginting, M. (2019). Analisa Warna, Kekeuhan, Logam Fe Pada Air Sumur Bor di UPT Laboratorium Kesehatan Daerah Medan. *JurnalAnLabMed*.
- Zhou, Q., Feng, H., Liping, Z., Wang, Y., & Wu, Z. (2009). Characteristics Of The Microbial Communities In The Integrated Vertical-Flow Constructed Wetlands. *Journal of Environmental Sciences*, 1261-1267.