

Optimalisasi Dosis *Sodium Hypochlorite* Pada Instalasi Pengolahan Air Perusahaan Umum Daerah di Kota X

Wildhan Muhammad Wiediyani*, Wilma Nurul Adzillah, Kania Ratnawati

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat Indonesia

*Koresponden email: wildhanm77@gmail.com

Diterima: 11 Agustus 2024

Disetujui: 16 Agustus 2024

Abstract

The water from Perumda must meet the current drinking water regulatory parameters, namely the Minister of Health Regulation No. 2 of 2023 on Drinking Water Quality Requirements. This research aims to test water parameters including temperature, pH, residual chlorine, *E. coli*, coliform and determine the optimum dose of disinfectant effort to eliminate *E. coli* and coliform bacteria in Perumda water in City X. The research method involves data analysis of water characteristic test results and laboratory scale experiments using 7 variations doses of sodium hypochlorite disinfectant ranging from 0.3 to 0.9 ppm. Research results show that temperature parameters can change because they are influenced by room temperature. pH parameter value increases with each additional dose of disinfectant with the highest value being 7.68. The residual chlorine parameter, a dose of 0.6 to 0.8 ppm, produces residual chlorine within the quality standard range, namely 0.2-0.5 mg/L. For *E. coli* and coliform parameters, a disinfectant dose of 0.6 to 0.9 ppm is able to reduce the *E. coli* and coliform content to the value of 0/100 mL. The conclusion of the research shows that the optimum dose for the elimination of *E. coli* and coliform bacteria is a dose of 0.6 ppm because it is able to eliminate bacteria with the lowest chlorine residue, namely 0.22 mg/L.

Keywords: *sodium hypochlorite, E. coli, Coliform, optimum doses, residual chlorine*

Abstrak

Air olahan dari Perumda harus mencapai parameter regulasi air minum yang berlaku yaitu Permenkes No. 2 Tahun 2023 mengenai persyaratan kualitas air minum. Penelitian ini bertujuan untuk menguji parameter air yang meliputi suhu, pH, sisa *chlor*, *E. coli*, *Coliform* dan menentukan dosis optimum disinfektan dalam upaya penghilangan bakteri *E. coli* dan *Coliform* dalam air pengolahan Perumda di Kota X. Metode penelitian melibatkan analisis data hasil pengujian karakteristik air dan eksperimen skala laboratorium menggunakan 7 variasi dosis disinfektan *sodium hypochlorite* mulai dari 0,3 ppm hingga 0,9 ppm. Hasil penelitian menunjukkan pada parameter suhu dapat berubah karena dipengaruhi oleh suhu ruangan. Pada parameter pH nilainya meningkat setiap penambahan dosis disinfektan dengan nilai terbesar yaitu 7,68. Pada parameter sisa *chlor* dosis 0,6 ppm hingga 0,8 ppm menghasilkan residu *chlor* yang berada pada rentang baku mutu yaitu 0,2-0,5 mg/L. Pada parameter *E. coli* dan *Coliform* dosis disinfektan 0,6 ppm hingga 0,9 ppm mampu menurunkan kandungan *E. coli* dan *Coliform* berada pada nilai 0/100 mL. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum dalam penyisihan bakteri *E. coli* dan *Coliform* yaitu dosis 0,6 ppm karena mampu menghilangkan bakteri dengan residu *chlor* terendah yaitu 0,22 mg/L.

Kata Kunci: *sodium hypochlorite, E. coli, Coliform, dosis optimum, sisa chlor*

2. Pendahuluan

Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) ialah bagian dari badan usaha yang milik pemerintah daerah. Berlandaskan UU Nomor 5 Tahun 1962, setiap perusahaan milik pemerintah daerah harus memberikan layanan serta penyelenggara pemanfaatan umum dibidang air minum. Kegiatan Perumda meliputi pengumpulan air baku dan pengolahan selanjutnya menjadi air minum yang bersih, sehat, dan higienis. Kemudian disalurkan kepada pelanggan untuk mencukupi kebutuhan konsumen terhadap air bersih yang sesuai persyaratan kualitas, kuantitas serta kontinuitas.

Bahaya terhadap kesehatan manusia timbul dari konsumsi air yang terkontaminasi atau air memiliki kualitas yang buruk, baik diminum atau dimakan secara langsung ataupun tak langsung, dan akibat dari pemakaian air yang terkontaminasi untuk aktivitas setiap hari seperti misalnya mencuci piring dan benda lainnya atau dampak pemakaian air untuk sarana rekreasi. Pencemaran air minum oleh bakteri, virus serta parasit lainnya maupun oleh zat kimia berbahaya dapat terjadi di sumber air baku atau terjadi pada ketika air yang diolah mengalir dari pusat pengolahan ke konsumen.

Mayoritas air baku yang diperoleh telah tercampur dengan berbagai limbah. Dengan merujuk hal tersebut maka dibutuhkan sebuah pengolahan air baku menjadi air layak konsumsi dengan instalasi pengolahan air minum (IPAM) agar air tersebut bisa sesuai standar sebagai air minum yang telah diatur dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang persyaratan kualitas air minum [3]. Komponen unit produksi yakni bangunan pengolahan serta perlengkapannya, perangkat operasional, alat pengukur dan alat pemantauan, serta bangunan penampungan air minum [5].

Instalasi pengolahan air minum (IPAM) yang baik yaitu dapat menghasilkan air dengan kualitas serta kuantitas yang baik. Air baku umumnya tercemar dapat dikonversi menjadi air yang layak konsumsi. Air baku yang digunakan oleh Perumda di Kota X masih jauh dari batas kelayakan untuk dikonsumsi. Masih tingginya kandungan kontaminan dan mikroorganisme di air baku dapat distabilkan dengan beberapa tahap pengolahan air salah satunya disinfeksi. Dosis dan disinfektan yang digunakan juga wajib sesuai dengan keadaan air baku yang dimanfaatkan dalam pengolahan. Dalam hal ini sering terjadi ketidaksesuaian penggunaan dosis larutan disinfektan sehingga perlu dilakukan pengoptimalan. Trihalomethane (THM) adalah senyawa yang bersifat karsinogenik dan umumnya terkandung dalam produk sisa disinfeksi menggunakan *chlor* [6].

Berdasarkan observasi pada lokasi penelitian ditemukan salah satu permasalahan yaitu air hasil olahan tidak diukur pada parameter mikrobiologi yang tertera dalam baku mutu air yang digunakan. Dengan merujuk Permenkes No. 2 Tahun 2023 tercantum salah satu parameter mikrobiologi yaitu kandungan *E. coli* dan *Coliform* harus berada pada nilai 0/100 mL sampel [3]. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan dosis yang optimum penggunaan disinfektan *sodium hypochlorite* dalam upaya penghilangan kandungan bakteri *E. coli* dan *Coliform* secara efisien.

2. Metode Penelitian

2.1 Uji Laboratorium

Karakteristik awal air pada unit bak *tompson* dan unit reservoir di uji terlebih dahulu untuk mendapatkan data karakteristik air eksisting pada unit pengolahan. Pengujian sampel air dilakukan skala lab di laboratorium Perumda Kota X. Sampel air yang diambil yaitu sampel air sebelum memasuki unit disinfeksi yaitu pada bak *tompson*. Parameter uji penelitian yang dilakukan meliputi parameter fisika, kimiawi, dan biologi. Pengukuran suhu dan pH mewakili parameter fisika. Pengukuran sisa *chlor* awal dan sisa *chlor* akhir mewakili parameter kimia. Bakteri *E. coli* dan *Coliform* sudah dapat mewakili sebagai parameter mikrobiologis untuk mengetahui keberadaan bakteri patogen yang berbahaya jika dikonsumsi manusia. Bakteri *Escherichia coli* mengakibatkan berbagai penyakit bagi manusia salah satunya diare [7].

Titik pengambilan sampel air untuk bahan penelitian yaitu pada terjunan unit bak *Thompson*, dimana pada titik tersebut belum terjadinya proses disinfeksi. Sampel air yang diambil sebanyak 20 liter dan telah cukup mewakili seluruh proses penelitian. Penelitian yang dilakukan pada masing-masing variasi dosis dilakukan dalam dua kali pengujian (duplo). Pengambilan sampel air juga dilakukan pada unit reservoir untuk pengujian karakteristik air hasil pengolahan. Sampel air yang diambil langsung melalui proses pengujian karakteristik tanpa melalui proses inkubasi terlebih dahulu.

2.2 Eksperimen

Penentuan dosis disinfektan optimum dalam pengolahan dilakukan dengan metode daya pengikat klorin (DPK). Eksperimen yang dilakukan dengan skala lab di laboratorium PERUMDA Kota X. Pengujian menggunakan disinfektan *sodium hypochlorite* dengan waktu detensi yang telah ditentukan selama 30 menit. *Chlor* yang bekerja menjadi disinfektan berasal dari berbagai jenis senyawa salah satunya *hypochlorite* [8]. *Sodium Hypochlorite* (NaOCl), bentuk garam ber kandungan klorin tersedia sebesar 5–15% [9]. Pada uji daya pengikat klorin dilakukan dengan 7 variasi dosis *sodium hypochlorite* yaitu 0,3 ppm, 0,4 ppm, 0,5 ppm, 0,6 ppm, 0,7 ppm, 0,8 ppm, 0,9 ppm. Dalam tahapan persiapan seluruh alat dan bahan yang hendak digunakan dari awal penelitian hingga akhir penelitian dipersiapkan. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian antara lain KIO_3 (*kalium iodat*), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (*natrium tiosulfat*), HCl , *amilum*, *KI*, *aquades*, sampel air, *sodium hypochlorite*, *reagen colilert-18*, dan *reagen DPD free chlorine*. Adapun alat yang digunakan pada penelitian antara lain timbangan analitik, *hot plate stirrer*, botol timbang, buret amber 50 mL, beaker glass 250 mL, 500 mL, dan 1000 mL, labu ukur 100 mL dan 1000 mL, *luminium foil*, batang pengaduk, *pippet* 2,5 mL, 5 mL, dan 10 mL, spatula, gunting, label, sarung tangan medis, *Benchtop pH meter*, *Calorimeter*, *Quanti-tray sealer plus*, *Well detection plate*, *UV viewing cabinet*, botol sampling plastik, dan ember 60 L.

2.3 Standardisasi Larutan Titran ($Na_2S_2O_3$)

Siapkan larutan CH_3COOH dan padatan KI . Buat larutan standar $Na_2S_2O_3$ 0,1 N dengan melarutkan 25 gram padatan $Na_2S_2O_3$ pada 1 liter *aquades*. Standardisasikan larutan $Na_2S_2O_3$ dengan larutan standar primer KIO_3 antara lain, timbang padatan KIO_3 dengan teliti sebanyak 3,567 gram, larutkan dalam labu ukur 1 liter, lalu homogenkan. Konsentrasi larutan KIO_3 tepat 0,1 N. Untuk menstandarisasi larutan $Na_2S_2O_3$, dipipet 50 mL larutan KIO_3 , lalu masukan ke dalam erlenmeyer 250 mL kemudian tambahkan *aquades* sampai 100 mL. Tambahkan 1 gram padatan KI . Sesudah padatan dilarutkan, tambahkan 15 mL HCl 1,0 N serta segera dititrasi dengan larutan $Na_2S_2O_3$, pada saat warna larutan berubah menjadi kuning cerah, tambahkan larutan amilum 0,5 % sebanyak 1 mL serta lanjutkan titrasi sampai warna biru hilang. Dalam membuat larutan indikator amilum 0,5% dengan cara campurkan 0,5 gram amilum dengan 5 mL *aquades*, lalu ditambahkan 95 mL *aquades* mendidih, dan homogenkan. Selanjutnya hitung nilai normalitas larutan $Na_2S_2O_3$ dengan **persamaan 1**.

$$\text{Normalitas} = \frac{W \times 50}{35,67 \times V} \quad \text{(Persamaan 1)}$$

Keterangan:

W = berat KIO_3 (g)
35,67 = berat setara KIO_3 (g/mol ekuivalen)
V = volume larutan $Na_2S_2O_3$ (mL)

Catatan: Agar bisa menstandarisasi larutan $Na_2S_2O_3$ bisa juga memanfaatkan larutan standar primer lainnya berupa kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$).

2.4 Pengecekan Konsentrasi Larutan *Sodium Hypochlorite*

Larutkan padatan KI sebanyak 2 gram sampai 3 gram dalam 50 ml *aquades* dalam erlenmeyer 250 ml, selanjutnya tambahkan larutan CH_3COOH pekat sebanyak 10 mL, dan dihomogenkan. Kemudian siapkan dan timbang secara tepat 1 gram *sodium hypochlorite* dalam botol timbang, lalu masukan *sodium hypochlorite* tersebut ke dalam larutan yang dibuat sebelumnya dan bilas dengan *aquades*. Setelah itu, secepatnya dititrasi dengan larutan standar $Na_2S_2O_3$ 0,1 N sampai warna kuning tipis, kemudian tambahkan 1 mL larutan indikator amilum 0,5%, dan lanjutkan titrasi sampai warna biru hilang. Selanjutnya hitung nilai kadar *chlor* aktif larutan *sodium hypochlorite* yang digunakan dengan **persamaan 2**.

$$\text{Kadar } chlor \text{ aktif sebagai } Cl_2 (\%) = \frac{V \times N \times 35,46}{W \times 1000} \times 100 \quad \text{(Persamaan 2)}$$

Keterangan:

35,46 = berat ekuivalen *Chlor* (g/mol ekuivalen)
V = volume larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N (ml)
N = normalitas larutan standar $Na_2S_2O_3$ (mol ekuivalen/L)
W = berat sampel uji (g)

Larutan *sodium hypochlorite* yang digunakan memiliki spesifikasi satuan yaitu berat per berat, sehingga dalam penggunaannya perlu dikonversi kedalam satuan berat per volume. Konversi satuan larutan *sodium hypochlorite* dapat menggunakan **persamaan 3**.

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan } Cl_2(\%) \text{ b/b ke dalam mg/L} &= Cl_2 (\%) \text{ b/b} \times \rho && \text{(Persamaan 3)} \\ &= Cl_2 (\%) \text{ b/v} \end{aligned}$$

2.5 Menentukan Jumlah Larutan Dipipet

Awalnya standardisasi larutan *natrium tiosulfat* dan penentuan kadar *chlor* aktif sesuai dengan SNI 0081:2015 Point 6.1 [4]. Konsentrasi *chlor* aktif yang telah diketahui dari hasil titrasi misal 10,11% b/v maka pengenceran dapat dilakukan dengan persamaan. Pembuatan konsentrasi *sodium hypochlorite* 1% dalam 250 mL labu takar amber glass (coklat) dilakukan dengan cara larutan *sodium hypochlorite* dipipet sebanyak yang dihitung ke dalam labu takar amber glass 250 mL. Kemudian ditambahkan *aquades* hingga tanda tera. Larutan dihomogenkan, dan larutan *sodium hypochlorite* 1% b/v siap digunakan. Untuk menentukan volume larutan yang dipipet mulanya larutan *sodium hypochlorite* 1% b/v dikonversi dalam satuan mg/mL menggunakan **persamaan 4** dan **persamaan 5**.

$$1\% \frac{b}{v} = \frac{1 \text{ gram sodium hypochlorite}}{100 \text{ mL aquadest}} = 10000 \text{ mg/L} = 10000 \text{ ppm} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2 \quad (\text{Persamaan 5})$$

$$V_1 \cdot 10000 \text{ ppm} = 1000 \text{ mL} \cdot 0,3 \text{ ppm}$$

$$10000V_1 = 300 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{300}{10000}$$

$$V_1 = 0,03 \text{ mL}$$

Jadi, untuk membuat dosis 0,3 ppm dalam 1 liter sampel air yang di pipet yaitu 0,03 mL dari larutan *sodium hypochlorite* 1%. Lakukan langkah yang sama dalam membuat dosis 0,4 ppm hingga 0,9 ppm.

2.6 Langkah Uji Daya Pengikat Klorin (DPK) Dengan *Sodium Hypochlorite*

DPK adalah singkatan dari daya pengikat klorin (*chlor demand*) *chlor* yang dibutuhkan dalam Upaya membunuh bakteri di dalam air [14]. Awalnya menyiapkan *beaker glass* 1000 mL. Mengisi *beaker glass* dengan sampel air setelah unit filtrasi sebanyak 1000 mL. Masukkan *sodium hypochlorite* 1% dengan dosis 0,3 ppm hingga 0,9 ppm ke dalam *beaker glass* yang telah diisi sampel air. Mengaduk sampel yang telah dimasukan larutan disinfektan hingga homogen. Sisa *chlor* awal diuji dengan *chlorine meter*. Sampel uji yang sudah diukur kandungan residu *chlor* awal, lalu disimpan pada ruang kedap cahaya selama 30 menit. Residu *chlor* akhir diuji kembali setelah 30 menit dari dalam ruang gelap dengan *chlorine meter*.

2.7 Langkah Pengukuran pH

Salah satu parameter yang digunakan pada penelitian yaitu tingkat keasaman (pH). Nilai pH pada sampel yang digunakan diukur terlebih dahulu menggunakan alat yang tersedia di Laboratorium Perumda Kota X yaitu *Benchtop pH meter inoLab pH 7310*. Langkah pengukuran pH pada sampel air dilakukan dengan cara siapkan alat *Benchtop pH meter inoLab pH 7310*, lalu nyalakan. Kalibrasi alat sebelum dilakukan pengukuran. Siapkan sampel air yang ingin diuji. Masukkan batang pengukur pada alat kedalam wadah berisi sampel air. Lalu awasi perubahan angka pada pengukuran hingga stabil. Catat hasil pengukuran.

2.8 Langkah pengukuran *E. coli* dan *Coliform*

Langkah awal siapkan sampel air yang ingin diuji, lalu masukan sampel air ke dalam botol sampling plastik berukuran 100 ml. Tambahkan reagen bakteri yaitu *Colilert-18*, lalu homogenkan. Tunggu beberapa menit hingga busa pada sampel air menghilang. Masukkan sampel air ke dalam *well detection plate*, lalu *press* menggunakan alat *Quanti-Tray Sealer Plus*. Masukkan *plate* ke dalam inkubator bakteri lalu atur suhu pada 34°C, lalu tunggu hingga 18-22 jam kemudian. *Plate* yang telah di inkubasi lalu dideteksi dengan *UV Viewing Cabinet*. Beri tanda pada kotak *plate* yang menyala cerah dan kuning tidak menyala sebagai tanda keberadaan bakteri *E. coli* dan *Coliform*. Lalu hitung jumlah bakteri berdasarkan tabel MPN *IDEXX Quanti-tray*.

2.9 Menentukan Dosis Optimum

Data hasil penelitian dianalisis pada setiap tahapan penelitian yang dilakukan sebagai upaya penyelesaian masalah yang terungkap pada penelitian. Analisis data dilakukan untuk menentukan hasil eksperimen dari pemberian *sodium hypochlorite* dengan variasi dosis yang berbeda. Pada setiap pemberian dosis dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan bakteri *E. coli* dan *Coliform* sehingga akan didapatkan hasil berupa perbandingan keberadaan bakteri *E. coli* dan *Coliform* dari pemberian *sodium hypochlorite* dengan dosis yang berbeda. Variasi dosis yang mampu membunuh seluruh bakteri *E. coli* dan *Coliform* serta meninggalkan residu *chlor* yang masih dalam ambang batas baku mutu air minum merupakan dosis optimum untuk penggunaan larutan *sodium hypochlorite*. Analisis data dilakukan dengan metode komparatif. Perbandingan yang dilakukan yaitu pada sampel air hasil penambahan dosis 0,3-0,9 ppm *sodium hypochlorite* terhadap perubahan *E. coli*, *Coliform*, sisa *chlor*, pH, dan suhu dengan standar baku mutu air Permenkes No. 2 Tahun 2023 [3].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Sampel Air

Karakteristik awal sampel air mengandung nilai *E. coli* dan *Coliform* yang tidak terlalu besar karena telah melalui beberapa unit pengolahan sebelumnya. Kemudian untuk parameter pH serta suhu pada sampel air masih berada pada standar baku mutu air. Seperti yang tersajikan pada **Tabel 1** dibawah, sejumlah parameter yang tidak berdasarkan standar kualitas yang ditentukan pemerintah. Beberapa parameter yang di uji yaitu suhu, pH, sisa klor, *E. coli*, dan *Coliform*. Standar kualitas air yang digunakan merujuk pada Permenkes Nomor 2 tahun 2023 [3].

Tabel 1. Karakteristik sampel air unit bak *tompson*

Parameter	Hasil Pengukuran		Standar (Permenkes No. 2 Tahun 2023)	Satuan
	1	2		
Suhu	24,9	-	Suhu udara \pm 3	$^{\circ}$ C
pH	7,26	-	6,5 - 8,5	-
Sisa <i>chlor</i>	-	-	0,2 - 0,5	mg/L
<i>E. coli</i>	13,5	18,5	0	CFU/100 mL
<i>Coliform</i>	105,6	102,6	0	CFU/100 mL

Sumber: Hasil pengujian (2024)

Pada **Tabel 1** karakteristik sampel air, untuk parameter suhu berada pada rentang yang telah mencapai baku mutu. Pada hasil pengukuran parameter pH masih dalam rentang yang telah ditentukan. Karakteristik awal sampel air tidak mengandung *chlor* karena sampel air yang diambil belum mencapai unit disinfeksi. Selanjutnya, pada hasil pengukuran sampel air parameter biologi yaitu *E. coli* dan *Coliform* masih jauh dari standar yang telah ditetapkan.

Untuk menunjang tujuan serta kelengkapan penelitian, pengujian karakteristik air juga dilakukan pada unit reservoir. Pada unit reservoir sampel air yang digunakan telah melalui seluruh proses pengolahan termasuk disinfeksi. Pengujian karakteristik air eksisting pada unit reservoir dapat menjadi perbandingan dengan hasil penelitian yang dilakukan. Berikut ini hasil pengujian karakteristik air eksisting unit reservoir tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Karakteristik sampel air unit reservoir

Parameter	Hasil Pengukuran		Standar (Permenkes No. 2 Tahun 2023)	Satuan
	1	2		
Suhu	27,3	28,1	Suhu udara \pm 3	$^{\circ}$ C
pH	7,13	7,06	6,5 - 8,5	-
Sisa <i>chlor</i>	0,84	0,84	0,2 - 0,5	mg/L
<i>E. coli</i>	8,5	4,1	0	CFU/100 mL
<i>Coliform</i>	283,6	109,2	0	CFU/100 mL

Sumber: Hasil pengujian (2024)

Tabel 2 menyajikan pengukuran karakteristik air eksisting unit reservoir. Parameter yang diukur meliputi suhu, pH, sisa *chlor*, *E. coli*, dan *Coliform*. Nilai rata-rata hasil uji karakteristik air reservoir pada parameter suhu yaitu 27,7 $^{\circ}$ C. Nilai rata-rata hasil uji karakteristik air reservoir pada parameter pH yaitu 7. Nilai rata-rata hasil uji karakteristik air reservoir pada parameter sisa *chlor* yaitu 0,84 mg/L. Nilai rata-rata hasil uji karakteristik air reservoir pada parameter *E. coli* yaitu 6,3/100 mL. Nilai rata-rata hasil uji karakteristik air reservoir pada parameter *Coliform* yaitu 196,4/100 mL. Hasil pengujian karakteristik air pada unit reservoir merupakan hasil pengujian dalam kondisi tidak terjadi pembubuhan *sodium hypochlorite* ketika pengambilan sampel air. Dari seluruh hasil pengujian, kualitas air tidak mencapai standar baku mutu air minum Permenkes No. 2 Tahun 2023 [3]. Hasil dari pengukuran karakteristik air

eksisting unit reservoir dapat menjadi dasar penguat perlunya menentukan dosis disinfektan yang optimum agar mencapai karakteristik air sesuai standar yang berlaku.

4.2 Karakteristik Parameter Uji Air Pada Unit Disinfeksi

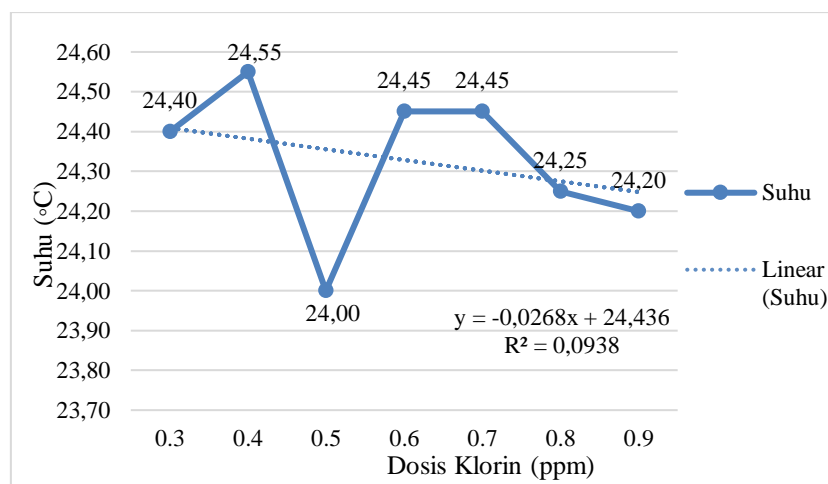
Penelitian dilakukan selama 2 pekan meliputi beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan sampel air yang akan diuji dan uji laboratorium. Sampel air yang diuji diambil dengan menggunakan metode *grab sampling*, dengan demikian sampel air menggambarkan karakteristik air hanya saat pengambilan sampel. Sampel air diambil langsung pada unit bak Tompson menggunakan ember plastik 60 liter. Pengambilan sampel air dilakukan dengan menadahkan langsung ember plastik pada terjunan air di bak *tompson*.

Pada tahapan uji laboratorium pengguna laboratorium diwajibkan untuk mengenakan alat pelindung diri (APD) lengkap antara lain masker, sarung tangan serta jas laboratorium. Pada tahap ini seluruh sampel air yang di uji diberikan perlakuan yang sama. Dalam 7 variasi dosis, setiap dosis menggunakan 1 liter air sampel dan diwadahkan pada beaker glass 1000 mL dan diberi label. Seluruh pengujian dilakukan sama hanya pemberian dosis *chlor* yang dibedakan. Pengujian dilakukan secara dua kali pengujian (duplo). Hasil uji di data dan di jadikan nilai rata-rata untuk setiap variasi dosis klor. Syarat baku mutu air minum yang menjadi acuan yaitu Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Keberadaan sejumlah bakteri *E. coli* dan *Coliform* pada sampel air juga dapat mempengaruhi jumlah senyawa *chlor* yang harus dituangkan ke dalam air. Kekuatan disinfektan klorin di dalam air dilandasi kekuatan oksidasi dari atom oksigen bebas serta reaksi substitusi dengan klorin. Klorin dapat membunuh bakteri patogen seperti *E. coli* dan *Coliform* dengan mudah yaitu memutus ikatan kimia di dalam molekulnya berupa mengubah struktur ikatan enzim dan merusak struktur kimia enzim. Ketika terjadi kontak antara enzim pada mikroorganisme dengan klorin, satu atau lebih dari atom hidrogennya kemudian digantikan dengan ion klor.

4.3 Analisis Suhu

Peningkatan suhu air menyebabkan terjadinya penurunan oksigen terlarut yang berbahaya untuk kehidupan akuatik. Peningkatan suhu air juga berbanding terbalik dengan kualitas air. Ketika suhu air meningkat dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Semakin tinggi suhu maka semakin cepat *chlor* terurai dan semakin cepat sisa *chlor* dihilangkan. Bakteri *E. coli* dapat tumbuh pada suhu antara 10°C hingga 40°C dengan suhu optimal 37°C. Kehidupan bakteri dapat dipengaruhi dengan tingkat temperatur. Suhu yang lebih tinggi mampu meningkatkan dekomposisi *chlor* [1]. Kenaikan suhu pada pipa distribusi menurunkan kandungan sisa *chlor* pada jaringan distribusi namun tidak signifikan [15].



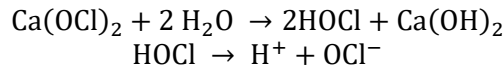
Gambar 1. Grafik variasi dosis *chlor* terhadap suhu
Sumber: Hasil penelitian (2024)

Gambar 1 menunjukkan grafik hasil pengukuran nilai rata-rata pada dosis *chlor* yang berbeda. Pada grafik diatas terlihat mengalami perubahan yang fluktuatif pada setiap penambahan dosis *chlor* yang diberikan. Perubahan pada suhu sampel air diperkirakan dipengaruhi dengan suhu ruangan yang berubah. Pengukuran parameter suhu menggunakan alat *Benchtop pH meter inoLab pH 7310* yang telah di kalibrasi terlebih dahulu.

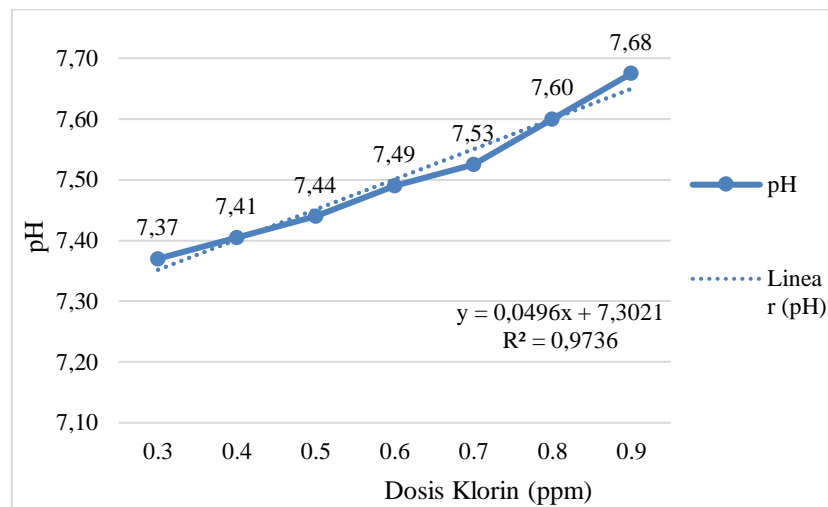
4.4 Analisis pH

Secara teoretis, asam hipoklorit adalah bentuk klorin yang dominan ketika pH berkisar 4,0–6,0. Sebaliknya, kondisi basa ($\text{pH} > 7,0$) menyebabkan ion hipoklorit bersifat mendominasi, dan pH yang sangat rendah mendukung terjadinya pembentukan gas *chlor* beracun [10]. Namun, belum ada data eksperimen yang membuktikan pengaruh pengatur pH terhadap jenis klorin. Beberapa penelitian pada air cucian selada menunjukkan bahwa kebutuhan klorin menurun seiring dengan peningkatan pH [11], dan dalam hal ini, *disinfectan by product* menurun [12].

Perubahan nilai pH di dalam air berhubungan dengan efektivitas kinerja *chlor*. *Chlor* bereaksi dengan air akan membentuk asam hipoklorit (HOCl) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.



Asam hipoklorit tereduksi pada saat pendistribusian air minum untuk bekerja membunuh bakteri yang masuk selama pendistribusian air minum, sedangkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tersisa bersifat basa [2].

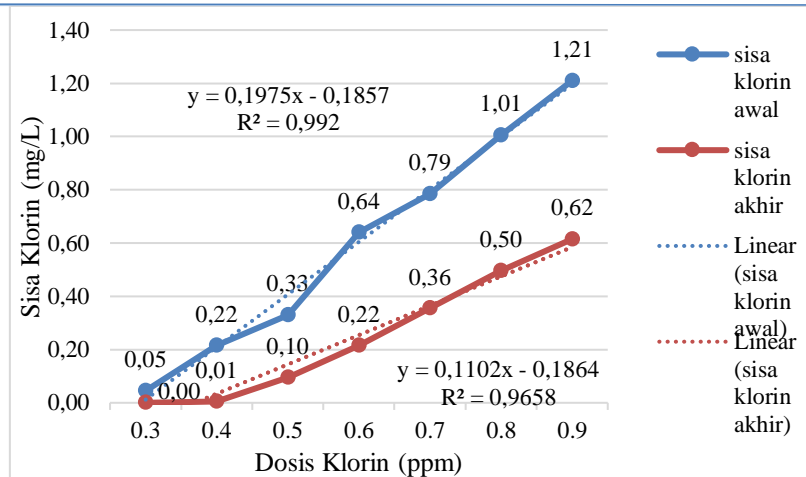


Gambar 2. Grafik variasi dosis *chlor* terhadap pH
Sumber: Hasil penelitian (2024)

Gambar 2 merupakan grafik hasil pengukuran parameter pH dengan dosis *chlor* yang berbeda. Semakin tinggi dosis *chlor* yang diberikan semakin meningkat nilai pH pada sampel air. Hal ini terjadi karena *chlor* berkontak dengan air menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Asam hipoklorit bekerja membunuh bakteri yang berada di dalam air sehingga akan tereduksi, sedangkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tersisa bersifat basa [2]. Hasil pengukuran pH pada sampel air menunjukkan nilai masih berada pada rentang yang telah ditetapkan standar Permenkes No. 2 Tahun 2023. Pengukuran parameter pH menggunakan alat *Benchtop pH meter inoLab pH 7310* dikalibrasi terlebih dahulu.

4.5 Analisis Sisa *Chlor*

Meskipun Proses disinfeksi dengan *chlor* efektif dilakukan dalam upaya membunuh bakteri patogen terdapat kekhawatiran mengenai efek samping penggunaan *chlor* yang dikenal sebagai *disinfection by product* (DBP). DBP merupakan reaksi antara senyawa organik yang terkandung di dalam air baku dengan *chlor* dan berbahaya bila dikonsumsi organisme hidup. DBP dapat menyebabkan kerusakan sel dan bersifat karsinogenik, sehingga dosis disinfektan harus ditentukan secara tepat untuk memastikan air hasil disinfeksi bebas dari DBP. Pengujian parameter *chlor* akhir menggunakan alat *Colorimeter Camlab CW1000+* dikalibrasi terlebih dahulu.



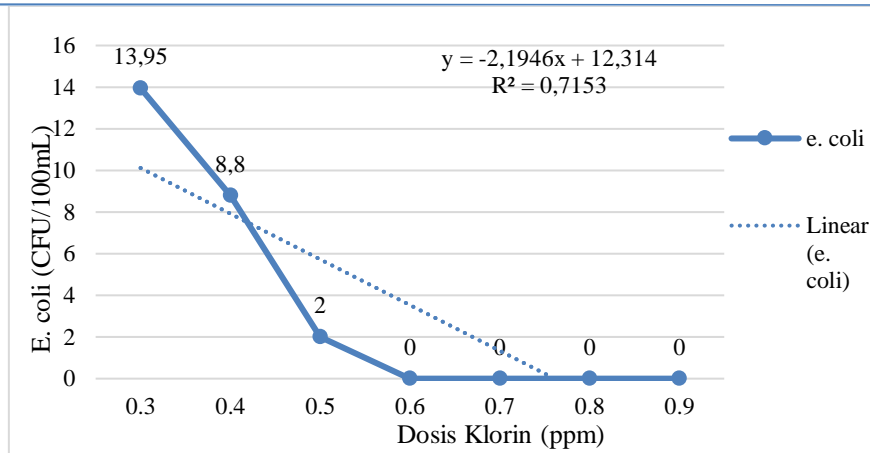
Gambar 3. Grafik variasi dosis *chlor* terhadap sisa *chlor* awal dan akhir
Sumber: Hasil penelitian (2024)

Gambar 3 merupakan grafik pengujian sisa *chlor* awal dan sisa *chlor* akhir. Sisa *chlor* awal di ukur langsung setelah pemberian larutan *sodium hypochlorite* pada sampel air sesuai dosisnya. Sisa *chlor* akhir di ukur setelah waktu kontak 30 menit dari pemberian larutan *sodium hypochlorite*. Grafik menunjukkan adanya peningkatan residu *chlor* seiring bertambahnya pemberian dosis *chlor* pada sampel air. Semakin tingginya dosis *chlor* yang diberikan maka residu *chlor* yang dihasilkan semakin besar. Hal ini terjadi karena sisa *chlor* dalam air bergantung kepada beberapa hal termasuk sifat dan jumlah bakteri pada air. Bakteri *E. coli* dan *Coliform* sifatnya sangat sensitif terhadap *chlor* sehingga *chlor* tepat digunakan dalam penyisihan bakteri tersebut. Penggunaan dosis 0,3 ppm hingga 0,9 ppm diperkirakan sebanding dengan jumlah bakteri pada karakteristik sampel air sehingga sisa *chlor* pada sejumlah dosis masih melebihi baku mutu. Menurut standar Permenkes no. 2 tahun 2023 untuk parameter sisa *chlor* diharuskan pada 0,2 – 0,5 mg/L.

Terlihat pada **Gambar 3** hasil pengujian pada parameter sisa *chlor* pada dosis *sodium hypochlorite* 0,3 ppm, 0,4 ppm, dan 0,5 ppm belum mencukupi baku mutu, dimana pada dosis tersebut sisa *chlor* masih belum mencapai nilai yang dibutuhkan. Pada dosis *sodium hypochlorite* 0,6 ppm, 0,7 ppm, dan 0,8 ppm menghasilkan nilai sisa *chlor* yang telah mencapai baku mutu. Pada dosis *sodium hypochlorite* 0,9 ppm belum mencukupi baku mutu, dimana pada dosis tersebut sisa *chlor* melebihi nilai yang dibutuhkan. Walaupun *chlor* bersifat toksik dalam hal penyediaan air minum, sisa *chlor* masih dibutuhkan untuk menghindari pertambahan bakteri dari unit penampung hingga unit distribusi ke pelanggan. Dalam upaya mencapai syarat baku mutu air minum yang berlaku diperkirakan sisa *chlor* yang optimum berada pada dosis *chlor* 0,6 ppm, 0,7 ppm, dan 0,8 ppm karena sisa *chlor* yang dihasilkan berada pada rentang baku mutu.

4.6 Analisis *E. coli*

Efektivitas disinfeksi *chlor* tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasi, waktu detensi, pH, dan suhu air, tetapi juga oleh mikroorganisme atau patogen itu sendiri. Bakteri *E. coli* jauh lebih sensitif terhadap *chlor* dibandingkan dengan spesies bakteri lainnya. Setelah melalui pemrosesan dengan *chlor* dalam disinfeksi air, perlu dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa air telah memenuhi standar keamanan yang ditetapkan sebelum dikonsumsi atau digunakan untuk keperluan lainnya.

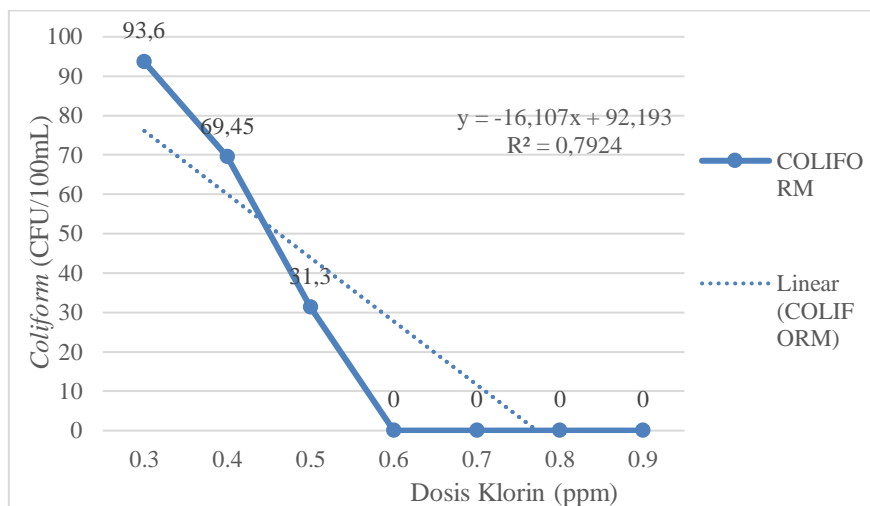


Gambar 4. Grafik variasi dosis *chlor* terhadap *E. coli*
Sumber: Hasil penelitian (2024)

Gambar 4 merupakan grafik dari hasil pengujian sampel air parameter mikrobiologi yaitu *E. coli*. Hasil yang didapat tidak seluruh dosis mampu menyisihkan bakteri *E. coli* sampai berada pada nilai 0. Menurut standar Permenkes no. 2 tahun 2023 untuk parameter biologi *E. coli* harus berada pada nilai 0/100 mL. Hasil pengujian pada dosis 0,3 ppm, 0,4 ppm, dan 0,5 ppm mampu mengurangi jumlah bakteri *E. coli* namun belum mencapai nilai 0. Selanjutnya pada dosis 0, 6 ppm, 0,7 ppm, 0,8 ppm, dan 0,9 ppm mampu menghilangkan bakteri *E. coli* sehingga mencapai standar baku mutu parameter mikrobiologi yang telah ditetapkan. Pengujian parameter mikrobiologi menggunakan alat *Quanti-tray sealer plus IDEXX* dan *Fluorescence analysis cabinet spectrolin model CM-10A*.

4.7 Analisis Coliform

Sama halnya dengan bakteri *E. coli* penggunaan *chlor* dalam penyisihan bakteri *Coliform* tergantung pada beberapa faktor seperti konsentrasi *chlor*, waktu kontak antara *chlor* dan air, pH air dan keberadaan bahan organik dalam air. Bakteri *coliform* merupakan salah satu indikator pencemaran lingkungan dan kesehatan yang buruk [13]. Dalam dosis yang tepat *chlor* dapat membunuh bakteri *Coliform* dan mikroorganisme patogen lainnya, menjadikan air lebih aman untuk dikonsumsi. Namun, perlu diingat bahwa penggunaan *chlor* harus sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku untuk memastikan efektivitas dan keamanan penyisihan bakteri *Coliform* dalam air.



Gambar 5. Grafik variasi dosis *chlor* terhadap *Coliform*
Sumber: Hasil penelitian (2024)

Gambar 5 merupakan grafik dari hasil pengujian sampel air parameter mikrobiologi yaitu *Coliform*. Hasil yang didapat tidak seluruh dosis mampu menyisihkan bakteri *Coliform* sampai berada pada nilai 0. Menurut standar Permenkes no. 2 tahun 2023 untuk parameter biologi *E. coli* harus berada pada nilai 0/100 mL. Hasil pengujian pada dosis 0,3 ppm, 0,4 ppm, dan 0,5 ppm mampu mengurangi jumlah bakteri *Coliform* namun belum mencapai nilai 0. Selanjutnya pada dosis 0,6 ppm, 0,7 ppm, 0,8 ppm, dan 0,9 ppm

mampu menghilangkan bakteri *Coliform* sehingga mencapai syarat baku mutu parameter mikrobiologi yang berlaku. Pengujian parameter mikrobiologi menggunakan alat *Quanti-tray sealer plus IDEXX* dan *Fluorescence analysis cabinet spectrolin model CM-10A*.

4. Kesimpulan

Nilai rata-rata hasil pengujian karakteristik air reservoir pada parameter suhu yaitu 27,7°C. Nilai rata-rata hasil pengujian karakteristik air reservoir pada parameter pH yaitu 7. Nilai rata-rata hasil pengujian karakteristik air reservoir pada parameter sisa *chlor* yaitu 0,84 mg/L. Nilai rata-rata hasil pengujian karakteristik air reservoir pada parameter *E. coli* yaitu 6,3/100 mL. Nilai rata-rata hasil pengujian karakteristik air reservoir pada parameter *Coliform* yaitu 196,4/100 mL. Dari seluruh hasil pengujian, kualitas air tidak mencapai syarat baku mutu air minum Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Hasil pengujian pada dosis 0,6 ppm, 0,7 ppm, dan 0,8 ppm menunjukkan hasil yang sangat baik. Dosis yang paling optimum yaitu dosis 0,6 ppm karena mampu menghilangkan bakteri *E. coli* dan *Coliform* dengan meninggalkan sisa *chlor* yang paling kecil yaitu 0,22 mg/L.

5. Daftar Pustaka

- [1] Triatmadja, "Pra Analisa pada Jaringan Pipa untuk Meningkatkan Kecepatan Komputasi," *Yogyakarta : UGM*, 2006.
- [2] Rohim, "Analisis Penerapan Metode Kaporitisasi Sederhana Terhadap Kualitas Bakteriologis Air PMA.," *Magister Kesehatan Lingkungan. Universitas Diponegoro*, 2006.
- [3] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Permenkes No. 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan," 2023.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 0081:2015 Point 6.1," pp. 2-4, 2015.
- [5] B. D. M. Amanda Marini Hariono, "Uprating Instalasi Pengolahan Air Minum Konstruksi Baja," *Jurnal Teknik ITS Vol. 11, No.1*, 2022.
- [6] M. J. a. S. J. B. Rodriguez, "Assessing Empirical Linear and Non-linear Modelling of Residual Chlorine in Urban Drinking Water Systems," *Environmental Modelling and Software*, pp. 93-102, 1999.
- [7] M. A. Jawetz, *Mikrobiologi Kedokteran*, Jakarta: Salemba Medika, 2005.
- [8] M. Ali, "Monograf Peran Proses Desinfeksi Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produksi Air Bersih.," *UPN Press*, 2010.
- [9] R. Mursid, "Tugas Akhir Proporsional Chlorination," *FTSP, ITS, Surabaya*, 1991.
- [10] U. v. G. Marie Deborde, "Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment—Kinetics and mechanisms: A critical review," *Water Research*, pp. 13-51, 2008.
- [11] Y.-C. H. Xi Chen, "Effects of organic load, sanitizer pH and initial chlorine concentration of chlorine-based sanitizers on chlorine demand of fresh produce wash waters.," *Food Control*, 2017.
- [12] Y. L. S. A. B. Z. L. C. J. Z. B. Z. P. M. d. Q. W. Zi Teng, "Investigation on chlorine-based sanitization under stabilized conditions in the presence of organic load.," *International Journal of Food International Journal of Food Microbiology*, pp. 150-157, 2018.
- [13] Tururaja, "Bakteri Coliform di Perairan Teluk Doreri, Manokwari Aspek Pencemaran Laut dan Identifikasi Species," *Jurnal Ilmu Kelautan*, 2010.
- [14] I. N. S. I. N. P. I Wayan Suarta Asmara, "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penggunaan Saringan Sadas Aon Untuk Menyaring Air PDAM di Desa Sukawati dan Guwang Kec. Sukawati Tahun 2010," *Skala Husada*, pp. 191-195, 2011.
- [15] C. J. d. S. Asryadin, "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 Analis Kesehatan Sains. Vol. 1*, 2010.