

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa

Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Khatulistiwa adalah Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Kota Pontianak yang diberikan wewenang untuk menyelenggarakan pelayanan air minum yang dimanfaatkan oleh masyarakat. PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa berlokasi di Jalan Imam Bonjol No. 430, Benua Melayu Laut, Pontianak Selatan, Kota Pontianak, Kalimantan Barat. Pembangunan sarana dan prasarana infrastruktur air bersih di Kota Pontianak dimulai pada tahun 1959. Pembangunan instalasi no. 1 berada di kompleks IPA Imam Bonjol dengan kapasitas 100 L/detik dan menggunakan sumber air dari Sungai Kapuas.

PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa didirikan berdasarkan Peraturan Daerah Nomor 03 Tahun 1975. PDAM Tirta Khatulistiwa mengganti nama menjadi PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa pada tahun 2020. Penggantian nama tersebut dalam rangka program hibah air minum perkotaan Tahun Anggaran 2020 dan kegiatan peningkatan akses air minum serta penambahan penyertaan modal Pemerintah Kota Pontianak pada PERUMDA BPR Khatulistiwa Pontianak Tahun Anggaran 2020.

2.1.1. Visi dan Misi PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa

Visi PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa adalah menjadi PERUMDA Air Minum yang unggul dan prima, sedangkan misi PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa, yaitu:

1. Meningkatkan cakupan dan kualitas layanan,
2. Menjamin terpenuhinya kebutuhan air pelanggan,
3. Menjamin laba yang optimal,
4. Mengembangkan SDM yang unggul.

2.1.2. Unit Produksi

PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa memiliki tiga unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) dan satu *mini treatment* dengan kapasitas IPA terpasang

sebesar 2.058 ℓ /detik dengan sumber air permukaan Sungai Kapuas dan Sungai Landak. Instalasi Pengolahan Air (IPA) terletak pada beberapa lokasi diantaranya:

Tabel 2. 1 Unit Produksi PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa

No.	Instalasi Pengolahan Air (IPA)	Tahun	Kapasitas
1.	Instalasi Pengolahan Air (IPA) Imam Bonjol		
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 1	1962	150 L/detik
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 2	1986	300 L/detik
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 3	1992	110 L/detik
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 4	1997	300 L/detik
		2012	548 L/detik
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 5	2018	300 L/detik
2.	Instalasi Pengolahan Air (IPA) Selat Panjang		
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 5	2001	100 L/detik
	Instalasi Pengolahan Air (IPA) 6	2003	200 L/detik
3.	Instalasi Pengolahan Air (IPA) Parit Mayor	2015	300 L/detik
4.	Mini Treatment Sei Jawi Luar	1987	50 L/detik

Sumber: https://www.pdamirtakhatulistiwa.com/uploads/pages/profil_perusahaan_2021_9/Slide7.JPG

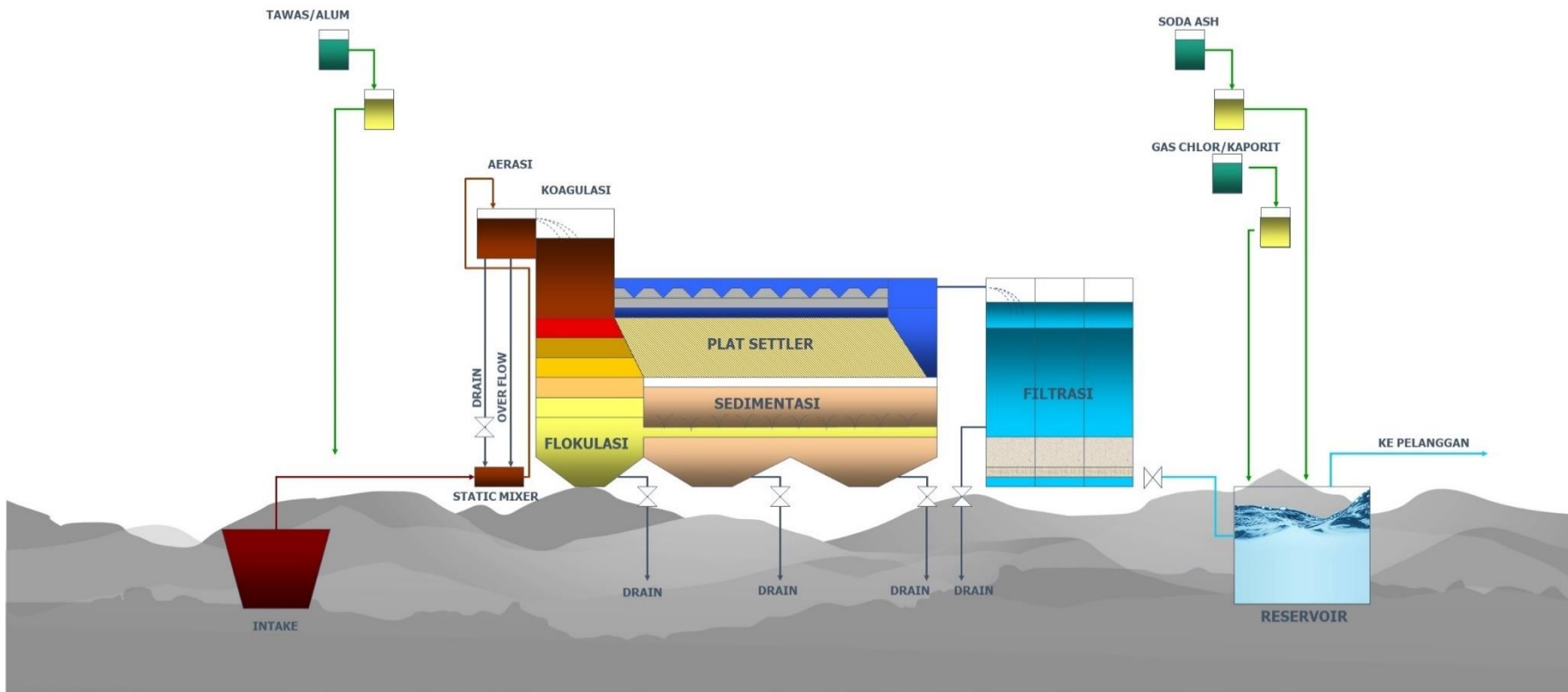
2.1.3. Sistem Pengolahan

Sumber air baku yang digunakan adalah air permukaan yang berasal dari air Sungai Kapuas dan Sungai Landak. Pemilihan unit pengolahan air didasari oleh kualitas air baku dan standar kualitas air produksi yang ingin dicapai. Sistem pengolahan air yang digunakan oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa adalah sistem pengolahan konvensional lengkap yang terdiri dari unit operasi dan unit proses. Unit operasi dan proses pada instalasi pengolahan air berupa unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi.

Tahap pengolahan air dimulai dari unit *intake*. *Intake* memiliki fungsi untuk menyuplai air dari sumber air baku menuju instalasi pengolahan air. Air baku yang ditampung pada unit *intake* disalurkan ke instalasi pengolahan yang pertama, yaitu unit koagulasi. Koagulasi adalah proses penambahan koagulan dan pengadukan cepat (*flash mixing*). Tujuan dari tahap koagulasi adalah menurunkan kekeruhan air dengan menambahkan koagulan yang diikuti dengan pengadukan cepat sehingga membentuk flok yang nantinya akan mengendap (Susanti, 2003). Tipe pengadukan cepat yang digunakan oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa adalah tipe pengadukan secara hidrolis. Setelah itu, air dialirkan ke unit flokulasi. Flokulasi adalah proses pengadukan lambat yang mengiringi dispersi koagulan secara cepat melalui pengadukan cepat. Flokulasi bertujuan untuk mempercepat tumbukan yang

menyebabkan terjadinya gumpalan partikel koloid yang tidak stabil sehingga dapat diendapkan (Anggarani, 2015). Proses flokulasi yang digunakan adalah pengadukan dengan menggunakan *horizontal baffle channel*.

Flok atau partikel koloid yang sudah terbentuk pada unit flokulasi akan mengendap secara alami pada dasar penampungan karena massa jenisnya lebih besar dibandingkan dengan massa jenis air atau disebut dengan proses sedimentasi. Air yang berasal dari unit sedimentasi kemudian disaring pada unit filtrasi. Filtrasi merupakan pemisahan zat padat – cair yang mana zat cair yang dilewatkan melalui suatu media berpori atau material berpori lainnya untuk menyisihkan sebanyak mungkin padatan tersuspensi. Selanjutnya air hasil filtrasi dialirkan menuju bak penampungan atau *reservoir*. Sebelum masuk ke dalam *reservoir*, air akan diberikan disinfektan terlebih dahulu untuk menghilangkan mikroorganisme patogen yang berada di dalam air (Sarjan & Soamole, 2016).



Gambar 2. 1 Sistem Pengolahan Air PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa
 Sumber: https://www.pdamirtakhatulistiwa.com/uploads/pages/profil_perusahaan_2021_9/Slide9.JPG

2.2. Air Baku

Air merupakan zat yang penting dalam kehidupan. Semua makhluk hidup di bumi membutuhkan air untuk melangsungkan kehidupan. Bagi manusia, air memiliki peran penting, misalnya untuk kebutuhan domestik, sarana transportasi, pembangkit listrik, dan penunjang keperluan usaha. Salah satu peran penting air bagi kehidupan adalah fungsinya sebagai air baku dan air minum (Yuliani & Imaningsih, 2020).

Air baku dan air minum merupakan dua hal yang saling berkaitan. Keterkaitan air baku dengan air minum berada pada penggunaan air baku sebagai bahan pembuatan air minum. Hal tersebut menyebabkan kualitas air minum juga dipengaruhi oleh kualitas air baku yang digunakan dalam pengolahannya. Pengawasan serta pengendalian perlu dilakukan untuk menjaga kualitas air. Berbagai faktor internal maupun eksternal mempengaruhi proses pengawasan dan pengendalian kualitas air (Harvelina, 2015).

Air baku (*raw water*) adalah air yang berasal dari suatu permukaan, cekungan tanah, dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum (Pemerintah Indonesia, 2007). Sumber air baku dapat berasal dari sungai, danau, sumur, mata air, dan bisa juga dibuat dengan cara membendung air buangan atau air laut. Pemilihan sumber air baku harus berdasarkan dua aspek, yaitu aspek kuantitas dan aspek kualitas (Ilyendri, 2018). Aspek kuantitas sumber air baku meliputi data jumlah air selama musim kemarau, kecukupan pasokan air yang aman untuk sekarang dan mendatang, studi mengenai kandungan air lokal, dan tingkat penggunaan lahan di daerah cakupan air. Sedangkan aspek kualitas sumber air baku terdiri atas data kualitas air pada periode tertentu, penilaian risiko kontaminasi, dan usulan pengembangan lahan sekarang dan mendatang (Surya, 2009).

Tidak semua air baku dapat diolah. Oleh karena itu, dibuat ketentuan standar kualitas air baku yang dapat diolah. Menurut SNI 6773: 2008 tentang Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air, pada bagian persyaratan teknis kualitas air baku yang dapat diolah oleh Instalasi Pengolahan Air (IPA), yaitu:

1. Kekeruhan maksimum 600 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) atau 400 mg/L SiO₂.

2. Kandungan warna asli (*appearent color*) tidak lebih dari 100 PtCo dan warna sementara mengikuti kekeruhan unit baku.
3. Unsur-unsur lainnya memenuhi syarat air baku yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
4. Dalam hal air sungai, pada daerah tertentu mempunyai kandungan warna, besi, dan/atau bahan organik yang melebihi syarat tertentu, tetapi memiliki tingkat kekeruhan yang rendah (<50 NTU) maka menggunakan Instalasi Pengolahan Air (IPA) sistem DAF (*Dissolved Air Flotation*) atau sistem lain yang dapat dipertanggungjawabkan.

2.3. Standar Kualitas Air

Standar kualitas air adalah baku mutu yang ditetapkan berdasarkan sifat fisika, kimia, radioaktif, dan bakteriologis yang menyatakan persyaratan kualitas air tersebut (Ali, 2010). Standar kualitas air bersih dan air minum yang berlaku di Indonesia saat ini adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus per Aqua, dan Pemandian Umum dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Persyaratan kualitas menggambarkan mutu atau kualitas air baku. Kualitas air minum di Indonesia secara rinci tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/MENKES/PER/VI/2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum. Air minum yang aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan tambahan. Parameter wajib yang diperlukan adalah persyaratan kualitas air minum yang wajib diikuti dan dipenuhi oleh seluruh penyelenggara air minum. Sedangkan, parameter tambahan ditetapkan oleh otoritas daerah sesuai dengan kondisi kualitas masing-masing wilayah dengan mengacu pada parameter

tambahan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

2.4. Pengolahan Air Bersih

Pengolahan air bersih didefinisikan sebagai upaya khusus yang dilakukan terhadap air baku sehingga menjadi air bersih yang memenuhi persyaratan air bersih atau pun air minum dengan menggabungkan berbagai tahapan proses pengolahan (Narita, 2011). Tujuan dari pengolahan air adalah untuk menurunkan masing-masing kontaminan dalam air sehingga layak untuk digunakan.

Cara yang digunakan untuk pengolahan air tergantung pada zat pencemar yang ada di dalam air dan tujuan dari penggunaan air tersebut. Zat pencemar utama yang terdapat dalam sumber-sumber penyediaan air, seperti bakteri patogen, kekeruhan atau turbiditas dan padatan tersuspensi, warna, rasa dan bau, senyawa organik dan anorganik terlarut, kesadahan, dan gas-gas terlarut. Sementara itu, tujuan penggunaan air dapat dibedakan menjadi keperluan domestik, sistem proses, uap/steam, sistem pendingin, dan reaktan (Budiyono & Sumardiono, 2013).

2.4.1. Intake

Intake memiliki fungsi untuk menyuplai air dari sumber air baku menuju instalasi pengolahan air. Oleh karena itu, bangunan ini harus diletakkan pada tempat yang mudah untuk mengalirkan air dan didesain untuk memudahkan proses untuk menyuplai air yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan (Ramadhani dkk, 2017)

2.4.2. Koagulasi

Koagulasi merupakan proses penambahan dan pengadukan cepat (*flash mixing*) yang bertujuan untuk menurunkan kekeruhan air dengan menambahkan bahan kimia (koagulan) yang diikuti dengan proses pengadukan cepat sehingga membentuk flok yang nantinya akan mengendap. Koagulasi dapat dilakukan secara hidrolis dan mekanis (Joko, 2010).

Koagulan merupakan bahan-bahan kimia yang digunakan untuk proses pengendapan partikel-partikel koloid yang terdapat di dalam air. Koagulan yang dipakai oleh PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa pada proses koagulasi adalah aluminium sulfat atau alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$). Aluminium sulfat (tawas) digunakan karena memiliki harga yang ekonomis mudah didapat jika dibandingkan

dengan koagulan lain. Namun, tawas memiliki kekurangan yaitu meningkatkan jumlah ion Al^{3+} ke dalam air (Moerdiyanti dkk, 2014).

2.4.3. Flokulasi

Flokulasi adalah proses pengadukan lambat yang mengiringi dispersi koagulan secara cepat melalui pengadukan cepat. Tujuan dari proses flokulasi adalah mempercepat tumbukan yang menyebabkan terjadinya gumpalan partikel koloid yang tidak stabil sehingga dapat diendapkan. Pembentukan flok dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pH, jenis koagulan, kualitas air baku, lamanya pengadukan, dan alkalinitas (Arifiani & Hadiwidodo, 2007).

2.4.4. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pemisahan partikel-partikel padatan tersuspensi (*suspended solid*) di dalam air dengan pengendapan secara gravitasi. Prinsip utama dari sedimentasi ialah memberikan waktu air untuk tinggal atau mengalir secara lambat sehingga partikel-partikel yang massa jenisnya lebih berat akan mengendap karena gaya gravitasi (Darni dkk, 2016).

Proses pengendapan partikel-partikel yang ada di dalam air tergantung pada faktor-faktor, seperti kecepatan aliran, ukuran, bentuk, dan massa jenis partikel, sifat partikel, dan viskositas cairan. Faktor kecepatan aliran, ukuran, bentuk, massa jenis partikel, dan sifat partikel merupakan faktor yang paling utama dan paling diperhatikan dalam perancangan bak sedimentasi, sedangkan faktor viskositas cairan tergantung pada suhu dan faktor yang sulit untuk dikendalikan (Budiyono & Sumardiono, 2013).

2.4.5. Filtrasi

Filtrasi ialah pemisahan zat padat–cair di mana zat cair melewati atau melalui media berpori atau material berpori lainnya yang bertujuan untuk menyisihkan sebanyak mungkin padatan tersuspensi. Tujuan dari proses filtrasi adalah menghilangkan partikel tersuspensi dan koloid, bakteri, dan menyisihkan warna, rasa, bau, besi, serta mangan (Joko, 2010).

Prinsip kerja dari filtrasi adalah penyaringan mekanis, pengendapan, dan *biological action* (Asmadi dkk, 2011).

1. Penyaringan mekanis

Proses penyaringan mekanis terjadi pada saringan pasir lambat dan saringan pasir cepat. Media yang digunakan adalah pasir yang memiliki pori-pori cukup kecil. Dengan demikian, partikel-partikel yang ukuran butir lebih besar dibandingkan ruang antar butir pasir dapat tertahan. Selama proses filtrasi maka ruang antar butir pasir akan semakin diperkecil oleh partikel-partikel yang tertahan pada media filter.

2. Pengendapan

Proses ini terjadi pada saringan pasir lambat. Ruang antar butir media pasir berfungsi sebagai bak pengendap kecil. Partikel-partikel yang berukuran kecil, koloidal-koloidal, dan beberapa jenis bakteri akan mengendap di dalam ruang antar butir dan melekat pada butir media pasir.

3. *Biological action*

Proses *biological action* hanya terjadi pada saringan pasir lambat. Suspensi yang ada di dalam air mengandung mikroorganisme, seperti alga dan plankton. Mikroorganisme tersebut akan membentuk lapisan di atas media filter yang disebut dengan lapisan lendir (*biofilm*).

2.4.6. Disinfeksi

Disinfeksi ialah upaya untuk menghilangkan mikroorganisme yang bersifat patogenik (menyebabkan penyakit). Secara umum disinfeksi digunakan untuk mengurangi penyakit yang ditimbulkan melalui perantara air (*water borne diseases*). Pada unit pengolahan air, lebih dari 90% bakteri dan virus telah berkurang selama proses koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi (Budiyono & Sumardiono, 2013). Metode yang biasa digunakan dalam proses disinfeksi adalah kimiawi, fisik, dan radiasi. Pengolahan air minum pada umumnya menggunakan disinfeksi kimia dan beberapa menggunakan radiasi UV (Masduqi & Assomadi, 2012).

Terdapat empat mekanisme disinfeksi yang dapat menghilangkan mikroorganisme di dalam air, yaitu merusak dinding sel, merubah permeabilitas sel, merubah sifat koloid protoplasma, dan menghambat aktivitas enzim. Penisilin diketahui dapat membunuh mikroorganisme dengan cara menghambat sintesa (pembentukan) dinding sel. Senyawa fenol dan detergen dapat bekerja dengan

merubah permeabilitas membran sitoplasma sehingga beberapa nutrien penting akan berkurang. Panas, radiasi, asam, dan basa dapat merubah sifat koloid protoplasma (Budiyono & Sumardiono, 2013).

2.5. Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum

Keberadaan mikroorganisme patogen di dalam air harus dikendalikan untuk mencegah terjadinya penyebaran penyakit dan infeksi. Mikroorganisme dapat disingkirkan, dihambat atau dibunuh melalui proses fisika maupun kimia. Salah satu cara untuk mengendalikan mikroorganisme adalah melalui disinfeksi (Herawati & Yuntarso, 2017).

Disinfeksi merupakan usaha untuk menghilangkan mikroorganisme patogen yang ada di dalam air. Prinsip dari proses disinfeksi adalah proses inaktivasi dan/atau perusakan sel mikroorganisme patogen untuk mencegah penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air. Proses disinfeksi bertujuan untuk menghancurkan sebagian besar mikroorganisme yang bersifat patogen (menyebabkan penyakit) pada suatu instrumen dengan menggunakan cara fisika (pemanasan) dan cara kimia (penambahan bahan kimia). Contoh disinfeksi secara fisika adalah sterilisasi, pembakaran, dan sanitasi; sedangkan disinfeksi secara kimia menggunakan suatu substansi padat, cair atau gas yang dicirikan oleh komposisi molekul yang pasti dan menyebabkan terjadi reaksi, contohnya senyawa fenol, alkohol, klor, iodium, dan etilen oksida (Sunarko, 2012).

Instrumen yang digunakan pada proses disinfeksi disebut disinfektan. Disinfektan ialah bahan kimia atau pengaruh fisika yang digunakan untuk mencegah terjadinya infeksi atau pencemaran jasad seperti bakteri dan virus, serta untuk membunuh atau mengurangi jumlah mikroorganisme penyebab penyakit lainnya (Utomo & Harbiyana, 2021). Sebagai fungsi tambahan selain kegunaannya untuk memusnahkan mikroorganisme patogen beberapa disinfektan, seperti ozon dan klorin dioksida berfungsi untuk mengoksidasi zat organik, besi, dan mangan serta untuk mengontrol masalah rasa, warna, dan pertumbuhan alga.

Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses disinfeksi dalam membunuh mikroorganisme, yaitu jenis disinfektan, jenis mikroorganisme,

konsentrasi disinfektan dan waktu kontak, dan faktor lingkungan yang terdiri atas pH dan suhu (Said, 2007):

1. Jenis disinfektan

Efektivitas disinfektan tergantung pada bahan kimia yang digunakan, beberapa disinfektan seperti ozon dan klorin dioksida adalah agen pengoksidasi yang lebih kuat daripada yang lain seperti klorin.

2. Jenis mikroorganisme

Di alam terdapat banyak variasi mikroorganisme patogen yang resisten terhadap disinfektan. Bakteri pembentuk spora umumnya lebih tahan terhadap disinfektan daripada bakteri vegetatif. Ada juga variasi bakteri vegetatif yang resisten terhadap disinfektan dan antar jenis dari spesies yang sama. Misalnya, *Legionella pneumophila* lebih tahan terhadap klorin daripada *Escherichia coli*. Secara umum, tingkat ketahanan mikroorganisme terhadap disinfektan berurutan adalah sebagai berikut: mikroorganisme vegetatif < virus enteric < bakteri pembentuk spora (*spore forming bacteria*) < kista protozoa.

3. Waktu kontak dan konsentrasi

Efektivitas disinfektan tergantung pada waktu kontak dan konsentrasi disinfektan. Jika konsentrasi dikurangi maka waktu kontak antara disinfektan dan mikroorganisme harus diperpanjang. Hal yang serupa dapat dilakukan jika konsentrasi disinfektan ditambah, maka waktu kontak antara disinfektan dan mikroorganisme dikurangi.

4. Pengaruh pH

pH dapat mempengaruhi proses disinfeksi karena pH akan mengontrol HOCl (asam hipoklorit) terhadap OCl^- (ion hipoklorit). Pada pH yang rendah, maka OCl^- (ion hipoklorit) lebih sulit terurai sehingga sisa klor yang ada di dalam air lebih dominan dalam bentuk HOCl (asam hipoklorit). Sedangkan pada pH yang tinggi, OCl^- (ion hipoklorit) lebih banyak terbentuk.

5. Suhu

Suhu berpengaruh pada proses disinfeksi karena semakin tinggi suhu, maka akan menambah kecepatan reaksi. Suhu yang rendah memiliki kecepatan penyisihan mikroorganisme lebih lambat jika dibandingkan dengan temperatur

yang tinggi. Efektivitas disinfektan akan lebih besar pada suhu yang lebih rendah.

2.6. Klorinasi

Klorinasi merupakan salah satu proses desinfeksi dalam pengolahan air minum yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen. Klorin menyebabkan kerusakan pada membran sel mikroorganisme patogen seperti *Escherichia coli*, sehingga mikroorganisme tidak dapat bereproduksi (Damayanti & Warno, 2016). Klorin digunakan sebagai disinfektan di negara berkembang karena relatif murah, mudah, dan efektif. Gas klorin (Cl_2), senyawa hipoklorit (ClO^-), klor dioksida (ClO_2), bromin klorida (BrCl), *dihydroisocyanurate*, dan kloramina (NH_2Cl) merupakan senyawa-senyawa klor yang umum digunakan pada proses klorinasi.

Proses klorinasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu klorinasi akhir dan klorinasi awal. Proses tersebut tergantung pada mutu air baku dan kondisi lainnya. Pemberian klorin setelah pengolahan adalah metode yang umum disebut dengan klorinasi akhir, sedangkan klorinasi awal adalah pemberian klorin sebelum pengolahan yang nantinya bertujuan untuk menyempurnakan proses koagulasi, mengurangi beban filtrasi, dan mencegah tumbuhnya ganggang. Namun, proses klorinasi akhir dan klorinasi awal sering digunakan secara bersamaan, sehingga pemakaian klorin dengan kedua metode tersebut secara bersamaan akan meninggalkan residu yang berlebihan (*super chlorination*) (Bernadet, 2020).

Senyawa klor dapat mematikan mikroorganisme patogen dalam air karena oksigen yang terbebaskan dari senyawa asam *hypochlorous* mengoksidasi beberapa bagian yang penting dari sel-sel bakteri sehingga rusak. Selain itu pembunuhan mikroorganisme patogen juga disebabkan dengan protoplasma. Beberapa percobaan menyebutkan bahwa kematian mikroorganisme disebabkan reaksi kimia antara *hypochlorous* dengan enzim pada sel bakteri sehingga proses metabolismenya terganggu (Bernadet, 2020).

Senyawa klor dalam air akan bereaksi dengan senyawa organik maupun anorganik tertentu membentuk senyawa baru (Herawati & Yuntarso, 2017). Beberapa bagian klor yang akan tersisa disebut sisa klor. Pada mulanya sisa klor merupakan klor terikat, selanjutnya jika dosis klor ditambah maka sisa klor terikat

akan semakin besar dan akan mencapai kondisi *break point chlorination*. Penambahan dosis klor setelah mencapai kondisi *break point chlorination* akan memberikan sisa klor yang sebanding dengan penambahan klor. Keuntungan yang dicapai pada kondisi *break point chlorination*, yaitu senyawa ammonium teroksidasi secara sempurna, mematikan mikroorganisme patogen secara sempurna, dan mencegah pertumbuhan lumut (Tchobanoglous & Burton, 1991).

Pemberian klorin pada proses disinfeksi mempunyai kekurangan yaitu senyawa klorin yang bersifat karsinogenik dan dapat mempengaruhi rasa dari air bersih. Metode ini juga tidak efektif dalam menghilangkan mikroorganisme yang tersembunyi dalam *loose deposit* atau dalam *biofilm* yang banyak terdapat dalam pengolahan air. Klorinasi tidak menyebabkan kerusakan secara fisiologis pada beberapa mikroorganisme dengan demikian banyak mikroorganisme yang dapat beradaptasi pada dosis klorin yang relatif tinggi (Slamet, 2007).

2.6.1. Metode Klorinasi

Pemberian klorin pada proses disinfeksi dapat dilakukan melalui beberapa cara, seperti gas klor, kloramin, dan perkolanin:

1. Gas klorin (Cl_2)

Gas klorin merupakan pilihan utama karena memiliki harga yang murah, kerjanya cepat, efisien, dan mudah digunakan. Namun gas klorin harus digunakan secara hati-hati karena gas ini beracun dan dapat menimbulkan iritasi pada mata. Alat klorinasi berbahan gas disebut *chlorinating equipments*. Alat yang sering dipakai adalah *Paterson's Chloronome* yang berfungsi sebagai alat pengukur dan pengatur pemberian gas klorin pada air.

2. Kloramin

Kloramin dapat dipakai dan merupakan salah satu senyawa lemah dari klorin dan ammonia. Kloramin kurang memberikan rasa klorin pada air dan sisa klorin bebas yang berada di air lebih persisten walaupun memiliki sistem kerja yang lambat dan tidak sesuai untuk proses klorinasi dalam skala besar.

3. Perkolanin

Perkolanin atau *high test hypochlorite* merupakan gabungan senyawa kalsium dan klorin (65% –75% kadar klorin yang dilepaskan dalam air).

Bahan-bahan disinfeksi yang mengandung senyawa klor, dijelaskan dalam **Tabel 2. 2.**

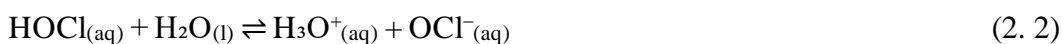
Tabel 2. 2 Jenis dan Sifat Bahan Disinfektan

No.	Jenis Disinfektan	Rumus Kimia	% Klor	Bentuk
1.	<i>Chlorine</i>	Cl ₂	100	Gas
2.	Sodium hipoklorit	NaOCl	3-5	Padat
3.	<i>Calcium hypochlorite</i>	Ca(OCl) ₂	65-70	Padat
4.	<i>Chloride dioxide</i>	ClO ₂	63	Bubuk

Sumber: Ali, 2010

2.6.2. Cara Kerja Klorin

Klorin di dalam air akan berubah menjadi asam klorida, dinetralisasi oleh sifat basa yang dimiliki oleh air sehingga akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion hipoklorit. Dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Lin, 2001):



Klorin sebagai disinfektan terutama bekerja dalam bentuk asam hipoklorit (HOCl) dan sebagian kecil dalam bentuk ion hipoklorit (OCl⁻). Klorin dapat bekerja secara efektif sebagai disinfektan pada pH ±7. Nilai pH yang lebih dari 8,5 akan menyebabkan 90% dari asam hipoklorit akan mengalami ionisasi sehingga efektivitas disinfektan yang dimiliki menjadi berkurang.

2.6.3. Prinsip Pemberian Klorin

Terdapat beberapa prinsip yang perlu diperhatikan saat melakukan proses klorinasi, antara lain (Sumantri, 2017):

1. Air harus jernih dan tidak keruh karena kekeruhan pada air akan menghambat proses klorinasi.
2. Kebutuhan klorin harus diperhitungkan secara cermat agar dapat dengan efektif mengoksidasi bahan-bahan organik dan dapat membunuh mikroorganisme pathogen dan meninggalkan sisa klorin di dalam air.
3. Tujuan klorinasi pada air adalah untuk mempertahankan sisa klorin bebas sebesar 0,2 mg/L di dalam air. Nilai tersebut adalah *margin of safety* (nilai batas keamanan) pada air untuk membunuh mikroorganisme patogen yang mengkontaminasi pada saat proses penyimpanan dan pendistribusian air.

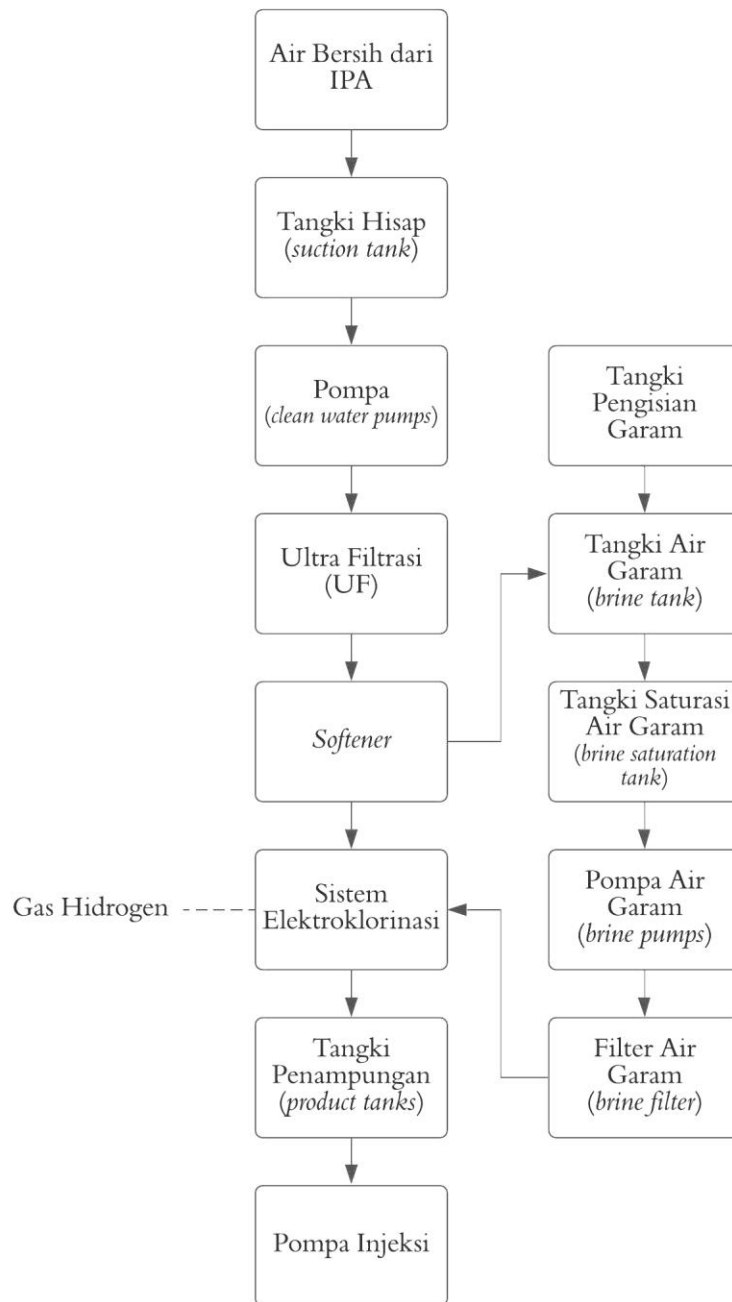
4. Dosis klorin yang tepat adalah jumlah klorin yang terkandung dalam air dapat dipakai untuk membunuh mikroorganisme patogen serta untuk mengoksidasi bahan organik dan meninggalkan sisa klorin bebas sebesar 0,2 mg/L dalam air.

2.7. Elektroklorinasi

Elektroklorinasi adalah teknik yang digunakan untuk menghasilkan natrium hipoklorit (NaOCl) cair secara *in situ* dari larutan natrium klorida (air laut atau air payau). Zat natrium hipoklorit berfungsi sebagai disinfeksi mikroorganisme laut sehingga dapat mengurangi *biofouling* pada instalasi yang menggunakan air laut seperti *desalination plant*, *condenser tube*, dan pompa pendingin (Esposito, 2009).

Proses produksi natrium hipoklorit pada alat elektroklorinasi menggunakan metode elektrolisis. Pada proses elektrolisis menghasilkan zat disinfektan berupa sodium hipoklorit dan menghasilkan gas hidrogen (H_2). Bahan baku utama pembuatan sodium hipoklorit pada alat elektroklorinasi adalah air laut atau air asin. Air laut atau air asin merupakan larutan garam (NaCl) di dalam air (H_2O) (Esposito, 2009).

Prinsip kerja elektroklorinasi adalah proses elektrolisis air laut atau air asin. Mula-mula air laut atau air asin dipompa masuk oleh *seawater booster pump* ke modul generator/elektroliser. Air laut atau air asin terlebih dahulu melewati filter untuk dilakukan penyaringan kotoran. Setelah itu, air laut memasuki elektroliser yang dialiri oleh arus listrik searah (DC). Arus untuk proses elektrolisis dapat diatur besarnya dan periode kenaikannya hingga mencapai nilai yang telah ditetapkan. Arus listrik di naikan secara bertahap sehingga mencapai besaran yang diinginkan. Target kadar klorin yang dibutuhkan telah mencukupi dengan menggunakan arus listrik sebesar 1000 – 1500 A. Produk sodium hipoklorit yang dihasilkan kemudian disimpan dalam *storage tank*. Sedangkan gas hidrogen yang dihasilkan masuk ke *gas holder* (Kurniastiti, 2012).



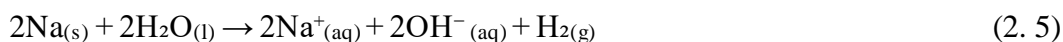
Gambar 2. 2 Diagram Alir Elektroklorinasi

Berikut ini persamaan reaksi pembentukan hipoklorit (Armstrong, et al., 2015):

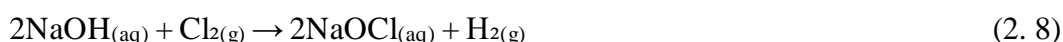
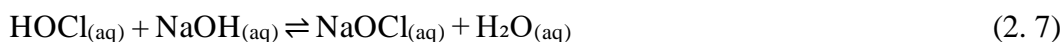
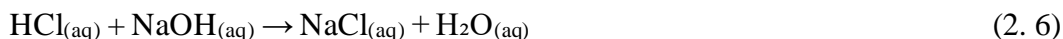
Anoda:



Katoda:



Sehingga hasil reaksinya adalah:



2.8. Natrium Hipoklorit

Natrium hipoklorit merupakan salah satu disinfektan yang tidak mahal namun efektif. Natrium hipoklorit memiliki rumus kimia NaOCl, yaitu salah satu produk pemurnian air dan sering digunakan sebagai disinfektan (Erikawati, 2012). Keuntungan penggunaan natrium hipoklorit pada proses elektroklorinasi adalah sebagai berikut (Thangappan & Sampathkumaran, 2008):

1. Murah, ramah lingkungan, dan sangat aman untuk ditangani;
2. Berfungsi sebagai pengoksidasi yang menghilangkan belerang, besi, dan mangan;
3. Mengurangi korosi pada pipa karena pH yang tidak terlalu rendah;
4. Memiliki sifat biologi yang lebih kuat dibandingkan gas klorin (Cl_2) dan klorin dioksida (ClO_2).

Natrium hipoklorit pertama kali diproduksi pada tahun 1789 oleh Claude Louis Berthollet di Javel, Prancis dengan cara melewatkan gas klor melalui larutan natrium karbonat. Cairan yang dihasilkan dikenal sebagai "*Eau de Javel*", yaitu larutan sodium hipoklorit lemah. Pada akhir tahun abad ke-19, ES Smith menetapkan metode produksi natrium hipoklorit dengan cara melibatkan elektrolisis air garam untuk menghasilkan natrium hidroksida dan gas klor, yang kemudian dicampur untuk membentuk natrium hipoklorit (Kurniastiti, 2012).

Sodium hipoklorit atau natrium hipoklorit umumnya digunakan untuk mensterilkan air dengan cara memasukkan sodium hipoklorit ke air dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Sodium hipoklorit dapat juga digunakan sebagai bahan irigasi saluran akar, karena zat tersebut memiliki kemampuan untuk mematikan bakteri (Erikawati, 2012).

Proses produksi sodium hipoklorit adalah menggunakan elektrolisis. Elektrolisis adalah metode yang menggunakan arus listrik searah untuk menggerakkan sebuah reaksi kimia non-spontan. Elektrolisis sering digunakan untuk memisahkan unsur kimia di dalam suatu senyawa dan atau untuk memicu reaksi untuk membentuk senyawa kimia baru. Terdapat dua macam proses pembuatan sodium hipoklorit, yaitu (Kurniastiti, 2012):

1. Pembuatan natrium hipoklorit (NaOCl) dari air laut dengan proses elektrolisis, yaitu dengan cara melarutkan NaCl dengan air yang menghasilkan larutan garam, sehingga larutan garam pada proses elektrolisa menghasilkan larutan sodium hipoklorit dan gas hidrogen. Berikut reaksi pembentukan natrium hipoklorit:

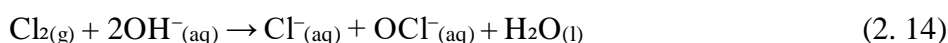
Katoda:



Anoda:



Sehingga hasil reaksinya adalah:



2. Pembuatan NaOCl dengan pencampuran gas klorin dan soda kaustik atau natrium klorida (NaOH), yaitu dengan cara menambahkan gas klorin (Cl_2) dengan soda kaustik atau natrium hidroksida (NaOH) yang kemudian menghasilkan sodium hipoklorit, air, dan garam. Sehingga hasil reaksinya adalah:



2.9. Gas Klor

Gas klor merupakan pilihan utama dalam proses disinfeksi air bersih karena memiliki harga yang murah, mudah digunakan, dan efisien. Tetapi gas klor harus digunakan secara hati-hati karena bersifat *toxic* (beracun) dan dapat menimbulkan

iritasi pada organ tubuh manusia. Dalam keadaan gas, klor dijumpai dengan warna kuning kehijauan. Peralatan klorinasi dengan bahan gas disebut *chlorinating equipment* dan alat yang sering digunakan adalah *Peterson's Chloronome* yang berfungsi untuk mengukur dan mengatur pemberian gas klorin di dalam air (Sara, 2018).

Gas klor yang dilarutkan dalam air akan mengalami reaksi hidrolisis sebagai berikut:



Asam hipoklorit kemudian terurai seperti persamaan reaksi berikut:



Ion klorida (Cl^-) tidak aktif dalam reaksi tersebut, sedangkan Cl_2 , HOCl , dan OCl^- dianggap sebagai bahan aktif. Zat kimia HOCl yang tidak pecah atau terurai merupakan zat pembasmi yang paling efisien bagi bakteri.

2.10. Sisa Klor

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

Banyak hal yang mempengaruhi kadar sisa klor pada jaringan distribusi seperti sumber air, jarak, kondisi pipa, dan kualitas air (Waluyo, 2009). Kadar sisa klor di jaringan distribusi yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 736/Menkes/Per/VI/2010, yaitu maksimal 1 mg/L pada *outlet reservoir* dan minimal 0,2 mg/L pada titik terjauh sistem distribusi. Hal ini harus diperhatikan karena jika keberadaan residu klorin bebas dalam jaringan distribusi kurang dari 0,2 mg/L, maka kemampuan disinfektan dapat berkurang sehingga jumlah mikroorganisme patogen dapat meningkat. Sedangkan jika sisa

klorin dalam jaringan distribusi lebih besar dari 1 mg/L, maka air baku akan bersifat karsinogenik dan beracun bagi pelanggan (Sofia dkk, 2015).

2.11. Total coliform

Total coliform adalah suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran dan kondisi yang tidak baik terhadap air, di mana bakteri ini dapat menjadi tanda untuk menentukan sumber air telah terkontaminasi oleh mikroorganisme patogen (Alang, 2015). *Total coliform* yang berada di dalam makanan atau minuman menunjukkan kemungkinan adanya mikroba yang bersifat enteropatogenik dan atau toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan. *Total coliform* dibagi menjadi dua golongan (Sunarti, 2015):

1. *Coliform fecal*, seperti *Escherichia coli* merupakan bakteri yang berasal dari kotoran manusia dan hewan. Keberadaan *Escherichia coli* di dalam air minum menunjukkan bahwa air minum yang dikonsumsi telah terkontaminasi oleh kotoran manusia atau hewan.
2. *Coliform non-fecal*, seperti *Aerobacter* dan *Klebsiella* yang bukan berasal dari kotoran manusia, tetapi berasal dari tumbuhan atau hewan yang sudah mati.

2.12. Most Probable Number (MPN)

Pengujian mikrobiologi diutamakan untuk memeriksa kadar *fecal coliform* dan *coliform non-fecal* di dalam air menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN). Metode MPN dimaksudkan untuk melakukan pengujian kualitatif dan kuantitatif bakteri *coliform* (Aulya dkk, 2020). Teknik MPN (*Most Probable Number*) merupakan cara untuk memperkirakan ukuran populasi mikroorganisme dalam substrat cair. Metode ini menggunakan medium cair di dalam tabung reaksi, dimana perhitungan dilakukan berdasarkan pola hasil uji yang positif, yaitu yang ditumbuhi oleh mikroorganisme setelah masa inkubasi pada suhu dan waktu tertentu (Waluyo, 2009). Pengamatan tabung yang positif dapat dilihat dengan mengamati timbulnya kekeruhan atau terbentuknya gas yang dihasilkan pada tabung Durham yang diletakkan pada posisi terbalik oleh mikroorganisme pembentuk gas. Uji MPN terdiri dari tiga tahap, yaitu (Soemarno, 2002):

- 1) Uji Pendahuluan (*Presumptive Test*)

Pemeriksaan pada uji pendahuluan dilakukan dengan menginokulasi sampel pada media LB (*Lactose Broth*) dilihat ada tidaknya gas yang dihasilkan pada tabung durham setelah diinkubasi selama 24 – 48 jam pada suhu 35°C - 37°C. Tabung LB yang dinyatakan positif dapat dilihat dari kekeruhan pada media dan gas yang dihasilkan dapat dilihat dalam tabung durham berupa gelembung udara. Banyaknya kandungan bakteri golongan *coliform* dapat dilihat dengan cara menghitung tabung yang menunjukkan reaksi positif kemudian dibandingkan dengan tabel MPN.

2) Uji Penegas (*Confirmed Test*)

Tabung positif yang diperoleh dari uji penduga dilanjutkan dengan uji penegas (*confirmed test*). Sampel positif yang menunjukkan gas di dalam tabung durham diinokulasikan ke dalam media *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB), kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 × 24 jam. Media ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram negatif termasuk *coliform*, karena komposisi media *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB) mengandung laktosa dan garam empedu yang memungkinkan dan merangsang pertumbuhan bakteri *coliform* secara optimal. Ada tidaknya bakteri *coliform* ditunjukkan dengan terbentuknya asam dan gas yang disebabkan oleh fermentasi laktosa oleh bakteri golongan *coliform*.

3) Uji Lengkap (*Completed Test*)

Uji lengkap (*completed test*) dilakukan dengan cara menginokulasi koloni bakteri pada media agar dengan cara digoreskan dan diinkubasi pada suhu 35°C selama 1 × 24 jam. Media agar yang digunakan adalah endo agar dan *Eosin Methyl Blue* (EMB).

2.13. Analisis Program EPANET

EPANET (*Environmental Protection Agency Network*) merupakan program komputer yang dapat melakukan simulasi hidraulik dan kualitas air pada suatu jaringan distribusi air. Jaringan distribusi air minum terdiri atas pipa, *node*, pompa, tangki air atau *reservoir*, dan *valve* (katup). EPANET memprediksi kecepatan aliran air pada pipa, kondisi tekanan air di setiap titik, usia air (*water age*), dan kondisi

konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama periode pengaliran (Roosman, 2000).

Data yang diperlukan untuk melakukan simulasi, yaitu peta jaringan, pompa, elevasi titik/*node/junction*, diameter dan panjang pipa, dan debit kebutuhan pada setiap *node*. (Andika & Kamil, 2009). *Output* yang dihasilkan dari program EPANET antara lain debit yang mengalir dalam pipa, tekanan air pada masing-masing titik/*node/junction*, pompa, dan *reservoir* (Asta, 2018).

2.13.1. Membuat Jaringan Distribusi dan *Input Data*

Membuat sistem jaringan distribusi yang sesuai dengan kondisi yang ada dapat menggunakan *toolbars map* yang tersedia pada program EPANET. Berikut ini cara untuk membuat sistem jaringan distribusi pada program EPANET:

1. Klik *toolbar reservoir* dan diletakkan pada gambar rencana.
2. Klik *toolbar node/junction* dan diletakkan pada gambar rencana.
3. Klik *toolbar* pipa untuk menghubungkan antar *junction*.
4. Kemudian lakukan langkah yang sama untuk *tank*, *valve*, pompa dan lain-lain.

Setelah membuat jaringan distribusi, kemudian masing-masing data pada *junction*, pipa, *reservoir*, pompa, tangki dan lain-lain diisi sesuai dengan sistem yang ada. Berikut ini tahapan untuk memasukkan data pada program EPANET:

1. Membuat *time patterns*, pada *time patterns* berisi faktor jam puncak (*peak factor*) fluktuasi pemakaian air per jam. Klik data pada *menu bar*, pilih *patterns-add*. Pada *pattern editor*, masukkan nama *pattern* (*pattern ID*) kemudian faktor jam puncak (*peak factor*) diisi berdasarkan fluktuasi pemakaian air.
2. Pada *junction properties* masukkan data *junction ID*, elevasi (dalam meter), dan debit (*base demand* dalam L/detik).
3. Pada *pipe properties* masukkan *pipe ID*, panjang pipa (dalam meter), diameter pipa (dalam milimeter), dan koefisien kekasaran pipa (*roughness*).
4. Data yang dimasukkan pada *reservoirs properties* adalah *reservoir ID* dan *total head* (dalam meter).
5. Jika dalam suatu jaringan distribusi diperlukan pompa, maka sebelum mengisi data pompa terlebih dahulu membuat kurva pompa. Klik *data-curves-add*,

kemudian masukkan *curve ID*, debit/flow (dalam L/detik), dan tekanan (dalam meter).

2.13.2. Kalibrasi Data

Program EPANET menyediakan *tools* untuk membandingkan hasil simulasi dengan data di lapangan. Menu ini dapat dilakukan menggunakan *time series* (urutan waktu) yang diplot untuk lokasi (*node*) yang dipilih pada jaringan dsitribusi. Sebelum melakukan simulasi, data kalibrasi dimasukkan ke *file* dan terdaftar pada proyek. Berikut ini tahapan untuk melakukan kalibrasi pada program EPANET:

1. Buat *file* kalibrasi (*chlorine*) dengan format .DAT menggunakan aplikasi *notepad windows*.
2. Isi data dengan format *node*, *times*, dan *value* (data hasil pengukuran).
3. Buka program EPANET, pilih *project-calibration data* pada *menu bar*.
4. Pada data kalibrasi bentuk dialog, klik pada *box* setelah parameter yang diinginkan untuk didaftarkan.
5. Ketik nama parameter atau klik *browser* untuk mencari.
6. Klik *edit* jika ingin membuka *file* kalibrasi pada *notepad windows* untuk mengubah.
7. Setelah proses *running* berhasil, pilih *report-calibration* untuk melihat hasil kalibrasi.

2.13.3. Analisis Kualitas Air

Saat melakukan analisis sisa klorin, perlu dilakukan pengamatan di lapangan terkait penurunan sisa klorin pada jaringan distribusi. Pada proses pengamatan dicatat titik sampling yang akan digunakan untuk mengetahui sisa klorin pada titik-titik yang sudah ditentukan, diameter pipa serta debit kebutuhan pelanggan untuk mengetahui kecepatan aliran di dalam pipa (Damayanti, 2020).

Berdasarkan data yang telah didapatkan, maka dicari konstanta penurunan sisa klor pada jaringan distribusi menggunakan rumus (Lewis A, 2000):

$$\ln C_e = \ln C_0 - \left(\frac{k}{v}\right)L \quad \text{Persamaan 2. 1}$$

dimana:

C_e = konsentrasi klorin pada jarak tertentu (mg/L)

C_0 = konsentrasi klorin pada $t = 0$ (mg/L)

k = konstanta penurunan

v = kecepatan aliran (m/s)

L = jarak (m)

Berikut ini langkah-langkah analisis kualitas air menggunakan program EPANET:

1. Pilih *option-quality* untuk diubah dari data *browser*. Pada menu parameter *property editor* diketik *chlorine*.
2. Pindah ke *option-reaction* pada *browser*. Pada *global bulk coefficient* masukkan nilai pelurnan sisa klor hasil perhitungan. Angka tersebut menggambarkan tingkatan klorin akan meluruh karena reaksi di dalam aliran dari waktu ke waktu. Angka ini akan berlaku untuk semua pipa di jaringan distribusi. Anda dapat mengubah nilai ini untuk masing-masing pipa jika dibutuhkan.
3. Klik *node reservoir* dan atur nilai *initial quality* pada 1.0. Angka ini merupakan konsentrasi klorin yang secara terus menerus masuk ke dalam jaringan (atur kembali kualitas awal di tangki ke 0 jika ingin mengubahnya).
4. Gunakan *time control* pada *browser* peta untuk melihat bagaimana kadar klorin berubah berdasarkan lokasi dan waktu selama simulasi.