

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Penelitian Terdahulu**

1. Penelitian Helen Novita 2022 tentang Uji Efektivitas Kualitas Bak Klorinasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Klinik Pratama Griya Subing Medical Dalam Menurunkan Angka Coliform. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif untuk menggambarkan Keefektivitasan Bak Klorinasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Klinik Pratam Griya Subing Medical dalam Menurunkan MPN Coliform. Hasil penelitian ditemukan kandungan bahan organik pada sampel air limbah Klinik Medis Pratam Griya Subing adalah 6 mg/L. Nilai BPC penambahan klor aktif berdasarkan konsentrasi bahan organik adalah 14 ppm. Penambahan klorin pada konsentrasi BPC 14 ppm menghasilkan sisa klorin rata-rata sebesar 9 ppm. Rata-rata sisa klorin mampu mereduksi koliform hingga 100%, dari 2700 jml/100ml sampel menjadi 300 jml/100ml sampel. Jadi dibutuhkan 43,96 gram kaporit per hari atau setara dengan 4,5 sendok makan kaporit per hari (1 sendok makan = 10 gram).
2. Penelitian Sri Arofah Mulyati et al 2022 tentang The Effectiveness of Klorine Tablets to Reducing Coliform in Wastewater Treatment Plant. Penelitian dilakukan dengan menggunakan eksperimen laboratorium dengan metode *pre* dan *post test* yang dilakukan pada bak inlet (sebelum pengolahan) dan outlet (sesudah klorinasi) yang dilakukan dua kali pengulangan serta mengukur suhu dan pH untuk menganalisis faktor lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan tablet klorin sebanyak 200 g efektif dapat menurunkan coliform hingga 98,55% dan memenuhi baku mutu yang dijadikan acuan.
3. Penelitian Agus Julianto et al 2023 tentang Perbedaan Penurunan Kandungan Bakteri *Escherichia Coli* Dengan Pemberian Klorin pada

Limbah Cair RSUD dr. H. Koesnadi Bondowoso. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen murni dengan rancangan *pre and posttest control group*. Sampel yang digunakan merupakan sampel limbah cair outlet instalasi pengolahan air limbah RSUD dr. H. Koesnadi Bondowoso yang dilakukan pemberian klorin sebanyak 0,6 gr/l, 0,8 gr/l dan 1,0 gr/l. Uji statistik yang digunakan adalah One Way ANOVA. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penurunan kandungan bakteri *Escherichia Coli* dengan pemberian klorin pada limbah cair RSUD dr. H. Koesnadi Bondowoso.

4. Penelitian Aliyatul Mukharomah 2024 tentang Potensi Alat *Injection* Klorinasi Pada Limbah Cair Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUD Dungus Kabupaten Madiun yang menggunakan desain penelitian pre-eksperimen dengan metode analisis deskriptif dan sampel limbah cair pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Griya Husada Madiun.

Tabel II. 1 Tabel Perbedaan Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Judul Penelitian	Jenis Penelitian dan Populasi Sampel	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Penelitian Helen Novita 2022 (Novita, 2022)	Jenis penelitian ini adalah deskriptif. Sampel limbah cair pada bak pengumpul awal	Variabel a. Kualitas bak klorinasi Instalasi Pengolahan Air Limbah b. MPN Coliform	Rerata residu klor 9 ppm mampu menurunkan bakteri Coliform hingga 100% yaitu dari 2700 jml/100ml sampel menjadi 300 jml/100ml sampel.
2.	Penelitian Sri Arofah Mulyati et al 2022 (Mulyati et al., 2022)	Jenis penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Sampel dilakukan di bak inlet dan outlet dilakukan dua kali pengulangan	Variabel a. Air limbah kandang hewan di bak inlet dan outlet b. Variasi dosis klorin c. MPN Coliform d. pH e. Suhu	Tablet klorin sebanyak 200 g efektif dapat menurunkan Coliform hingga 98,55% dan memenuhi baku mutu yang dijadikan acuan
3.	Penelitian Agus Julianto et al 2023 (Julianto et al., 2023)	Jenis penelitian ini dengan pendekatan eksperimen murni. Sampel limbah cair outlet yang dilakukan pemberian klorin sebanyak 0,6 gr/l, 0,8 gr/l dan 1,0 gr/l	Variabel a. Air limbah outlet rumah sakit b. Variasi dosis klorin c. Bakteri <i>Escherichia Coli</i>	Terdapat perbedaan penurunan kandungan bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan pemberian klorin pada limbah cair RSUD dr. H. Koesnadi Bondowoso

Pembeda dengan penelitian terdahulu yaitu pada penelitian ini menurunkan MPN Coliform dengan menggunakan metode injeksi dengan debit konstan 100 ml/menit dalam waktu 40 menit. Sampel yang digunakan berada pada limbah cair outlet dan setelah klorinasi. Serta jenis penelitian menggunakan pre eksperimen dengan desain penelitian *pretest-posttest only* design.

## **B. Landasan Teori**

### **1. Air Limbah**

Air limbah merupakan limbah yang berasal dari masyarakat dan rumah tangga, namun juga berasal dari industri, air tanah, air permukaan dan limbah lainnya. (Almufid, 2020). Oleh karena itu, air limbah adalah limbah umum, air limbah adalah air dari suatu daerah tertentu yang telah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dan harus ditampung serta diolah untuk menjaga lingkungan hidup yang sehat dan baik.

Air limbah adalah air sisa dari suatu proses dalam suatu kegiatan. (Pemerintah, 2021). Air limbah adalah cairan yang berasal dari rumah tangga, industri atau tempat umum lainnya yang seringkali mengandung bahan atau zat yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan mengganggu kelestarian lingkungan. Sumber dan jenis air limbah dapat dipengaruhi oleh taraf hidup masyarakat. Semakin tinggi tingkat sosial ekonomi maka semakin banyak air limbah yang dihasilkan.

Air limbah terdiri dari air dan bahan padat. Komposisi terbanyak pada air limbah sebesar lebih dari 90% terdiri dari air. Bahan padat dapat berupa bahan padat organik yang berasal dari karbohidrat, lemak, protein dan bahan padat anorganik dapat berasal dari logam, garam dan lain sebagainya. Bahan padat anorganik ini dapat menyebabkan pencemaran yang berakibat kimiawi yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan. Sedangkan bahan padat organik dapat mengakibatkan tumbuhnya virus, bakteri, atau tumbuhan air. Air limbah juga mengandung bakteri patologis *E. coli*. Oleh karena itu air limbah harus diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke lingkungan.

Karakteristik air limbah dapat berdasarkan sifat fisik, kimia, dan mikrobiologi. Baku mutu yang dapat digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016. (*Terlampir*)

a. Karakteristik Fisik

Sifat fisik yang penting adalah kandungan padatan yang mempengaruhi estetika, warna, kejernihan, bau, dan suhu. Pengecekan yang dapat dilakukan adalah dengan memisahkan air limbah untuk melihat ukuran partikel yang dikandungnya.

b. Karakteristik Biologi

Limbah cair seringkali mengandung mikroorganisme yang berperan penting dalam pengolahan biologis limbah cair, namun ada juga mikroorganisme yang berbahaya bagi kehidupan manusia. Salah satu metode pemeriksaan yaitu menggunakan MPN Coliform.

MPN merupakan kependekan dari *Most Probable Number* yang berarti suatu metode yang digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri Coliform pada media air seperti air limbah, air bersih, air minum, dan badan air yang menggunakan media LB dan BGLB dalam pemeriksaannya. Menurut partiwi (2013) dalam Sianipar et al (2022) mengatakan bahwa bakteri koliform bersifat racun dan berpotensi merusak sistem pencernaan. Terdapat dua jenis koliform antara lain koliform non fekal seperti *Enterobacter aerogenes* dan koliform fekal, seperti *E. coli*. (Sianipar et al., 2022)

Coliform adalah salah satu kelompok bakteri terbesar yang ditemukan dalam air yang terkontaminasi tinja dan merupakan masalah kesehatan masyarakat yang utama. Coliform berkembang sebagai bakteri komensal di usus hewan berdarah panas dan memasuki lingkungan tanpa batas waktu melalui feses. Coliform juga dikenal sebagai organisme model karena keberadaannya menunjukkan prevalensi patogen potensial lainnya, sehingga koliform sering digunakan sebagai indikator yang baik untuk kontaminasi tinja. Karena terbatasnya sumber air bersih yang tersedia di bumi, polusi air

sangat mempengaruhi ketersediaannya. Solusi seperti desinfeksi, pengurangan konsentrasi nutrisi, atau repopulasi tidak dapat dilakukan di ekosistem air yang mengalir besar seperti sungai air tawar (Mishra et al., 2018)

Analisa air untuk mengetahui jumlah bakteri koliform dilakukan dengan beberapa tingkatan yaitu: uji pendugaan, pengujian penegasan, dan pengujian lengkap. Uji pendugaan adalah tes persiapan E.coli. Uji pendugaan untuk mengetahui apakah terdapat bakteri di dalam air dianggap positif bila gas dihasilkan di dalam tabung fermentasi. Namun hasil positif pada pengujian ini belum tentu berarti air tersebut mengandung bakteri coli, karena masih banyak bakteri lain yang dapat memfermentasi laktosa sehingga menghasilkan gas. Ini disebut pengujian pseudo-proximate karena memerlukan pengujian tambahan.

Uji penegasan dilakukan dengan memberikan uji duga positif pada media BGLBB (Brilliant Green Lactose Bile Broth). Jika gas dihasilkan di lingkungan cair ini, maka tes tersebut dinyatakan positif. Tujuan pengujian penuh adalah untuk memastikan bahwa hasil pengujian diverifikasi.

Pengujian lengkap dilakukan untuk mengkonfirmasi hasil pemeriksaan. Analisis uji konfirmatori sudah cukup untuk memverifikasi kualitas air, namun untuk studi kasus diperbolehkan dilanjutkan hingga pengujian berakhir.

Residu klorin di bawah tingkat minimum kemungkinan besar akan berdampak pertumbuhan bakteri dalam air konsisten menurut penelitian sebelumnya, dengan penambahan klorin yang lebih besar dikaitkan dengan rendahnya kadar MPN koliform dan E. coli, dan sebaliknya (Supriyadi. et al., 2016).

Sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Bondowoso et al tahun 2023 yang awalnya air limbah mengandung >1.100 MPN/100ml setelah diberi larutan kaporit dengan kadar kaporit 0,6 gr/l menghasilkan penurunan MPN menjadi 150 MPN/100ml. Hal

itu menandakan bahwa dengan pemberian kaporit pada proses Instalasi Pengolahan Air Limbah di rumah sakit mampu menurunkan jumlah bakteri pada air limbah. (Julianto et al., 2023)

c. Karakteristik Kimia

1) Parameter organik

Kebutuhan oksigen biologis (BOD), kebutuhan oksigen kimia (COD), protein, karbohidrat, lemak, deterjen.

2) Parameter anorganik

- Nilai pH air limbah yang optimal adalah netral 7.

- Sisa Chlor

Kandungan sisa klorin yang melebihi batas akan menghasilkan bau beracun klorin yang sangat menyengat sehingga dapat membahayakan kesehatan pengguna air. Nilai residu klorin yang tinggi disebabkan karena waktu kontak yang kurang pada saat proses desinfeksi. Semakin lama waktu kontak maka semakin rendah sisa klorin saat bereaksi dengan bakteri (Wiranti et al., 2023)

- Alkalinitas

- Logam

magnesium (Mg), nikel (Ni), timbal (Pb), tembaga (Cu), kromium (Cr), seng (Zn), kadmium (Cd), seng (Zn), merkuri (Hg), besi (Fe) dan

- Nitrogen

- Fosfor

2. Rumah Sakit

Menurut Permenkes Nomor 72 Tahun 2016 Rumah sakit adalah suatu organisasi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara lengkap meliputi pelayanan rawat jalan, rawat inap dan gawat darurat. (Permenkes, 2016). Rumah sakit memiliki peran yang sangat strategis dalam mempercepat peningkatan derajat

kesehatan masyarakat karena mereka adalah lembaga kesehatan masyarakat.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 30 Tahun 2019, pelayanan rumah sakit umum yang diselenggarakan oleh Kementerian Kesehatan dan pemerintah daerah diklasifikasikan menjadi kategori/tipe A, B, C, D dan E.

### 3. Proses Pengolahan Limbah Cair di Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

Pengolahan air limbah dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

#### a. Tahap pre-treatment (Pengolahan Awal)

Sebelum pemrosesan dimulai, unit harus dibersihkan untuk melindungi dan mempercepat proses. Pada tahap ini, benda terapung dan sampah lainnya dikumpulkan.

#### b. Tahap Primer (Pengolahan Pertama)

Pemrosesan primer adalah pemrosesan fisik. Tujuan dari perawatan ini adalah untuk menghilangkan zat-zat yang dapat mengendap, misalnya kotoran. Padatan tersuspensi, yaitu zat yang mengapung seperti lemak. Partikel. Padatan berukuran besar dihilangkan pada tahap ini dengan penyaringan atau pengendapan. Perlakuan ini mampu menurunkan padatan tersuspensi sebesar 60% dan BOD sebesar 30%. Selain itu, proses ini dilakukan sebelum limbah cair masuk ke tahap pengolahan kedua. Salah satu contoh unit pengolahan pertama adalah tangki pemerataan, filter kasar juga dikenal sebagai bar screen, dan filter halus juga dikenal sebagai screening.

#### c. Tahap Secondary (Pengolahan Kedua)

Pada pengolahan sekunder, proses biologis digunakan untuk mengubah bahan organik dalam limbah cair menjadi flokulan yang dapat mengendap, juga dikenal sebagai *settling flocculant*, yang dapat dibuang ke dalam tangki sedimentasi. Unit pengolahan

sekunder meliputi filter tetesan, lumpur aktif, tangki aerasi, koagulasi dan flokulasi.

d. Tahap Lanjut (Pengolahan Tersier)

Perawatan ini merupakan lanjutan dari perawatan sebelumnya dan hanya akan digunakan jika pada perawatan pertama dan kedua masih terdapat zat-zat yang berbahaya bagi masyarakat. Jenis pengolahan yang ketiga adalah perlakuan khusus berdasarkan kandungan zat tertinggi pada limbah cair. Beberapa jenis pengolahan yang umum digunakan antara lain filter vakum, pengurangan mangan dan besi, penyerapan karbon aktif, dan osmosis balik

e. Tahap Desinfektan

Tujuan desinfeksi adalah untuk mengurangi atau membunuh mikroorganisme patogen pada cairan limbah. Kondisi bahan pembunuh dan mikroorganisme sangat mempengaruhi mekanisme pemusnahan mikroorganisme tersebut..

f. Tahap Akhir

Pengolahan di tahap akhir ini berfokus pada lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair. Lumpur dihasilkan oleh setiap proses pengolahan limbah cair, sehingga memerlukan pengolahan tambahan supaya lumpur tersebut tidak mengontaminasi lingkungan (Bangun, 2017)

4. Desinfeksi

Desinfeksi adalah penggunaan bahan disinfektan untuk menghancurkan dan menghilangkan mikroorganisme seperti bakteri atau virus dari permukaan benda (Kemenkes, 2020). Desinfeksi adalah penggunaan bahan kimia atau cara fisik untuk membunuh mikroorganisme penyebab penyakit untuk mengurangi kemungkinan terjadinya infeksi dengan cara membunuh mikroorganisme. patogen.

Desinfeksi adalah teknik untuk menghilangkan bakteri yang tidak diharapkan, seperti bakteri patogen atau bakteri penyebab penyakit dari air

minum. Penyebab yang berbeda membunuh semua mikroorganisme hidup. Tujuan sterilisasi adalah untuk penggunaan di bidang farmasi dan medis serta penelitian.

Menurut Ali (2010) dalam Letysa (2016) banyak faktor memengaruhi kemampuan desinfeksi, termasuk konsentrasi desinfektan, waktu kontak, mikroorganisme, dan temperatur. Laju desinfeksi dipengaruhi oleh konsentrasi desinfektan, sedangkan jenis desinfektan menentukan koefisien pemusnahan spesifik.

1) Waktu Kontak.

Jumlah waktu yang diperlukan suatu desinfektan untuk membunuh mikroorganisme dikenal sebagai waktu kontak.

2) Mikroorganisme

Kemampuan desinfeksi dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme. Setiap jenis mikroorganisme seperti : virus, bakteri, parasit, memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap desinfektan. Jumlah mikroorganisme yang banyak, terutama mikroorganisme penyebab penyakit, membutuhkan desinfektan dalam jumlah yang banyak.

3) Temperatur

Temperatur atau suhu akan meningkatkan laju reaksi proses desinfektan dalam memusnahkan mikroorganisme. Maka apabila suhu dalam keadaan tinggi, maka proses pemusnahan bakteri juga akan semakin cepat.

5. Klorinasi

a. Pengertian

Klorinasi adalah proses penambahan klorin pada air yang telah melalui proses penyaringan dan merupakan langkah lanjutan dalam proses penjernihan air. Klorinasi adalah proses desinfeksi yang paling umum digunakan karena efektif mengurangi dan membunuh mikroorganisme patogen. Klorin banyak digunakan di negara-negara berkembang untuk mengolah air minum, kolam renang, dan limbah industri. Dihidroisiosianurate, klor dioksida,

senyawa hipoklorit, bromine klorida, gas klorin, dan kloramin adalah beberapa senyawa klor yang paling umum digunakan dalam proses klorinasi.

Klorin adalah bahan kimia yang biasanya berbentuk gas beracun. Klorin dapat diubah menjadi cairan untuk transportasi atau penyimpanan. Ketika klorin dilepaskan, cairan segera berubah menjadi gas, yang tertinggal di lantai dan menyebar dengan cepat. (Salbiyah, 2019)

#### b. Jenis-Jenis Klorin

Klorin adalah desinfektan yang paling umum digunakan untuk menghilangkan bakteri pembawa penyakit, bertindak sebagai oksidan dan mengurangi gangguan mikroba. Klorin dapat mengurangi nitrogen amonia dan menghilangkan bakteri, magnesium, zat besi, serta bau air. berikut merupakan contoh klorin yang berada di pasaran antara lain:

##### 1. Asam hipoklorit (HOCl)



Gambar II. 1 Asam Hipoklorit

HOCl adalah asam lemah yang terbentuk ketika klorin (gas) dilarutkan dalam air. Ini digunakan sebagai bahan aktif dalam pembersih dan desinfektan karena kemampuannya memecah membran sel, mirip dengan mekanisme kerja natrium hipoklorit (pemutih) atau hidrogen peroksida. Nilai pH larutan berair HOCl berkisar dari netral hingga sedikit asam. HOCl ditemukan efektif

pada konsentrasi yang sangat rendah. Hanya sejumlah kecil HOCl yang diperlukan untuk membunuh bakteri dan virus secara efektif serta menghancurkan protein (seperti alergen hewan peliharaan yang tidak bernyawa) dibandingkan dengan produk pemutih dengan pH lebih tinggi. (Lori, 2021)

2. Kalsium hipoklorit  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , yang secara komersial dikenal sebagai klorin



Gambar II. 2 Kalsium Hipoklorit

Klorin banyak diperdagangkan di pasaran sebagai kalsium hipoklorit atau biasa disebut dengan kaporit. Bentuknya berupa bubuk atau massa padat. Fungsi kaporit ( $\text{Ca}(\text{OCl}_2)$ ) adalah mereduksi bahan organik, mengoksidasi logam, dan mendisinfeksi mikroorganisme. Namun penggunaan klorin juga harus diperhatikan dengan cermat dan harus mematuhi batas keamanan yang ada. Menggunakan konsentrasi klorin yang terlalu rendah dapat mencegah mikroorganisme di kolam renang. Pada saat yang sama, penggunaan terlalu banyak kaporit akan meninggalkan sisa klorin, yang dapat berbahaya bagi kesehatan (Cita & Adriyani, 2013)

Hipoklorit ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) atau disebut juga klorin dimanfaatkan sebagai desinfektan karena lebih larut dalam air, murah, dan stabil dalam air (Wiranti et al., 2023)

Berdasarkan hasil penelitian rata-rata kandungan bahan organik pada sampel limbah rumah sakit adalah 137,26 ppm, sehingga dosis pemberian Kalsium Hipoklorit dimulai pada 130-165 ppm. Titik BPC terjadi ketika klorin aktif ditambahkan sebesar 160 ppm dengan waktu kontak (yaitu 30 dan 40 menit). Pada titik BPC dengan waktu kontak 30 menit rata-rata persentase penurunan nilai koliform sebesar 98,21% menjadi 2,899 MPN/100 mL dengan sisa klorin sebesar 88 ppm. Pada waktu kontak 40 menit, persentase penurunan koliform mencapai 98,83%, dari >160.000/100 mL menjadi 1.866/100 mL, dengan sisa klorin sebesar 97,5 ppm. (Busyairi et al., 2016)

### 3. Natrium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ )



Gambar II. 3 Natrium Hipoklorit

Natrium hipoklorit atau biasa disebut sodium hipoklorit merupakan salah satu jenis klorin. Sodium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) telah terbukti efektif dalam menghilangkan mikroorganisme. Banyak orang menggunakan bahan ini dalam perawatan gigi untuk

menghilangkan bakteri patogen di akar gigi. NaOCL juga hadir dalam banyak bahan pemutih pakaian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa natrium hipoklorit pada konsentrasi 1000 ppm mempunyai efek penghambatan tertinggi terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus* ( $0,86 \pm 0,08$  mm) (Widiastuti et al., 2019)

Dengan senyawa klorin untuk desinfeksi, pH mengontrol jumlah asam hipoklorit dan hipoklorit dalam larutan. HOCL 80 kali lebih efektif membunuh *E. coli* dibandingkan OCL-. Lebih sedikit HOCL yang dihasilkan saat menggunakan disinfektan natrium hipoklorit dibandingkan dengan disinfektan kalsium hipoklorit (Wiranti et al., 2023)

c. Kegunaan Klorin

Klorin adalah halogen paling ringan kedua dan diwakili oleh Cl. Nomor atom unsur kimia ini adalah 17. Menurut Arif Sumantri dalam buku Kesehatan Lingkungan dan Perspektif Islam tahun 2010, klorin memiliki beberapa manfaat untuk pengolahan air, antara lain :

- 1) Hidrogen sulfida, mangan, dan besi yang dapat teroksidasi
- 2) Dapat menghilangkan rasa tidak sedap dan bau mencurigakan pada air
- 3) Dapat mengendalikan pertumbuhan organisme pembentuk lumut dan alga, sehingga mengubah rasa dan bau pada air
- 4) sanggup menangani proses pematatan

d. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Chlorinasi

Menurut Waluyo (2009) dalam Letysa (2016), kemampuan dan kecepatan proses klorinasi dipengaruhi oleh beberapa variabel, termasuk:

- 1) Keadaan Mikroorganisme

Faktor-faktor berikut memengaruhi kondisi mikroorganisme:

a) Jumlah Mikroorganisme

Mikroba penyebab penyakit jika dalam jumlah yang banyak, akan membutuhkan dosis kaporit yang lebih tinggi.

Kalsium hipoklorit ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) bisa menurunkan jumlah bakteri dengan efektivitas 94%, sedangkan desinfektan Natrium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) efektif di angka 86,9% (Wiranti et al., 2023)

b) Penyebaran Mikroorganisme

Desinfektan mudah menembus mikroorganisme yang menyebarkan. Di sisi lain, desinfektan lebih sulit menembus timbunan bakteri. Bakteri cenderung membentuk "cangkang" dengan padatan tersuspensi di air keruh. Perlu dicurigai bahwa air tersebut mengandung lebih banyak bakteri patogen.

c) Jenis Mikroorganisme

Mikroorganisme yang berbeda, termasuk virus, parasit atau bakteri, memiliki sensitivitas terhadap berbagai jenis desinfektan. Contohnya, ketahanan kista protozoa lebih tinggi daripada ketahanan enterovirus. Ketahanan enterovirus lebih tinggi dibandingkan resistensi enterobakteri.

2) Waktu Kontak

Agar desinfektan bisa bekerja secara maksimal, maka harus berada dalam kontak dengan air yang telah diolah selama waktu yang cukup. Waktu pemaparan adalah waktu di dalam air guna terjadinya reaksi antara klor dan zat pereduksi klor. Waktu kontak air bersih maupun air limbah dengan desinfektan yang digunakan, jika menggunakan klorin atau senyawa klorin, waktu kontak adalah 30 hingga 60 menit sebelum air digunakan.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan pada air limbah menunjukkan bahwa setiap perubahan waktu paparan mengalami penurunan yang signifikan antara pretest dan posttest, yang ditunjukkan dengan nilai Asymsig sebesar 0,0001 (Sig. < 0,05). Penurunan E. coli sebesar 89,45%, 95,5%, 98,33% dan 99,65% pada waktu kontak masing-masing 30, 45, 60 dan 75 menit. Pada waktu kontak 30, 45, 60 dan 75 menit, reduksi sisa klorin masing-masing sebesar 70%, 75%, 85% dan 92,5%. Hasil analisa deskriptif dan uji LSD menunjukkan bahwa lama waktu kontak klorin yang paling efektif dalam mereduksi E. coli dan residu klorin pada penelitian ini adalah 60 menit, yang mampu mereduksi E. coli sebesar 185,83 MPN/100 ml dan menyisakan klorin bebas sebesar 0,3 mg/ L. (Wulan, 2017)

Sedangkan pada sampel air bersih menunjukkan bahwa dosis klorin optimal adalah 0,5 mg/l, waktu kontak 30 menit, efisiensi penyisihan 100%, angka kematian 0,277/menit, dan koefisien letalitas spesifik 0,554/mg/menit. Percobaan yang dilakukan terhadap sampel air dari saluran keluar unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun menunjukkan tingkat penghilangan E. coli sebesar 99,61%. Kehadiran bahan kimia lain di dalam air mengurangi efektivitas disinfektan.

### 3) Jenis dan Konsentrasi Desinfektan

Masing-masing desinfektan memiliki kelebihan dan kekurangannya tersendiri, baik secara teknis (melarutkan dan menambahkan) maupun non-teknis (harga). Dosis desinfektan berhubungan dengan waktu kontak desinfektan (Komala & Agustina, 2014)

### 4) Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap klorinasi termasuk:

a) pH

Masing-masing desinfektan bekerja maksimal pada pH tertentu, seperti pada pH rendah (pH = 6) ozon lebih stabil. Pada saat yang sama, kekuatan destruktif klorin melemah seiring dengan meningkatnya pH. Jika pH larutan lebih dari 7 maka berwujud kloramin, sedangkan jika pH kurang dari 6 maka berwujud dikloramin.

Semakin tinggi pH air, proses klorinasi menjadi tidak efektif karena mengionisasi 90% asam hipoklorit, yang berubah menjadi ion hipoklorit, dan daya desinfektan klorin berkurang atau mengurangi (Istikomah et al., 2018)

b) Suhu

Semakin tinggi suhu air, semakin efektif desinfektan. Berdasarkan jurnal penelitian diperoleh suhu yang paling efektif untuk desinfeksi *E. coli* adalah 40°C, dengan suhu akhir dan pH 55°C dan 5,0. Jumlah *E. coli*, yang awalnya 1,5 x 10<sup>6</sup> CFU/ml, diturunkan menjadi 0,2 x 10<sup>6</sup> CFU/ml dan efisiensi desinfeksi menjadi 86,7% (Kurniati et al., 2020)

c) Pengolahan Air

Hasil akhir yang dicapai dipengaruhi dari perlakuan awal seperti sedimentasi dan filtrasi dengan desinfeksi. Selain itu, waktu yang pas untuk menambahkan klorin juga mempengaruhi hasil yang dapat dicapai.

d) Kualitas Air

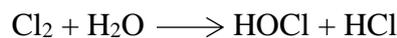
Bahan organik yang terkandung pada air akan meningkatkan kebutuhan klorin, yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi klorin.

e. Cara Kerja Klorin

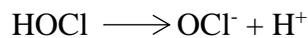
Klorin membunuh bakteri, jadi menambahkan klorin ke air akan memurnikannya dengan menghancurkan struktur seluler organisme (Salbiyah, 2019)

Kekuatan desinfektan klorin bersumber dari sifat-sifatnya sebagai oksidator kuat. Klorin mengoksidasi enzim yang berfungsi sebagai proses metabolisme pada mikroorganisme. Ketika klorin ditambahkan ke dalam air, terjadi dua jenis reaksi, yaitu ionisasi dan hidrolisis (Fuadi, 2012)

Reaksi hidrolisis yang terjadi yakni:



Berikut reaksi ionisasi yang terjadi:



Klorin adalah unsur pengoksidasi kuat yang mudah bereaksi. Respon elemen ini didukung dengan beberapa faktor, mulai dari dalam maupun luar. Faktor-faktor seperti sinar matahari, suhu dan lain-lain mempengaruhi reaksi klorin.

f. Prinsip-Prinsip Pemberian Klorin

Menurut LeChevallier 2013, desinfeksi klorin memerlukan perhatian pada hal-hal berikut untuk mengurangi jumlah mikroorganisme :

1) Konsentrasi Maksimum dalam Desinfeksi

Kesanggupan klorin sebagai desinfektan dalam mengoksidasi air masih memiliki batasan konsentrasi yang aman untuk tubuh manusia, maka apabila terjadi overdosis, penambahan klorin berdampak baik terhadap rasa, bau, dan kesehatan manusia.

2) Kebutuhan Klor untuk Desinfeksi

Kebutuhan klorin adalah kadar klorin yang dipakai guna memperoleh ambang batas klorinasi. Jumlah klorin yang dibutuhkan bergantung pada kualitas air. Hal ini dikarenakan kualitas air berubah dari waktu ke waktu, akibatnya kadar klorin yang diperlukan juga akan berubah dari waktu ke waktu (Lisna, 2021)

g. Dampak Klorinasi Air

Chlorine merupakan senyawa desinfektan, yang banyak digunakan dalam proses pengolahan air. Desinfektan ini bekerja dengan baik untuk membunuh bakteri, fungi dan virus. Namun desinfektan ini juga dapat menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan manusia selain dapat menimbulkan bau dan rasa yang tidak enak pada air. Sebagai contoh Chlorine dapat bersifat merusak atau korosif pada kulit dan peralatan, selain itu Chlorine juga berpotensi merusak sistem pernafasan manusia dan hewan (Supiani, 2018)

## 6. Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel terdiri dari 3 macam antara lain :

a. *Grab Sampling* ( Sampel Sesaat )

Pengambilan sampel secara *grab sampling* dilakukan secara langsung pada objek sampel yang akan diamati. Sampel yang diambil mewakili kondisi sampel air pada saat dilakukannya pengambilan sampel. Syarat sampel dalam pengambilan sampel secara *grab sampling* diperkirakan bersifat homogen.

b. *Integrated Sampling* ( Sampel Gabungan Tempat )

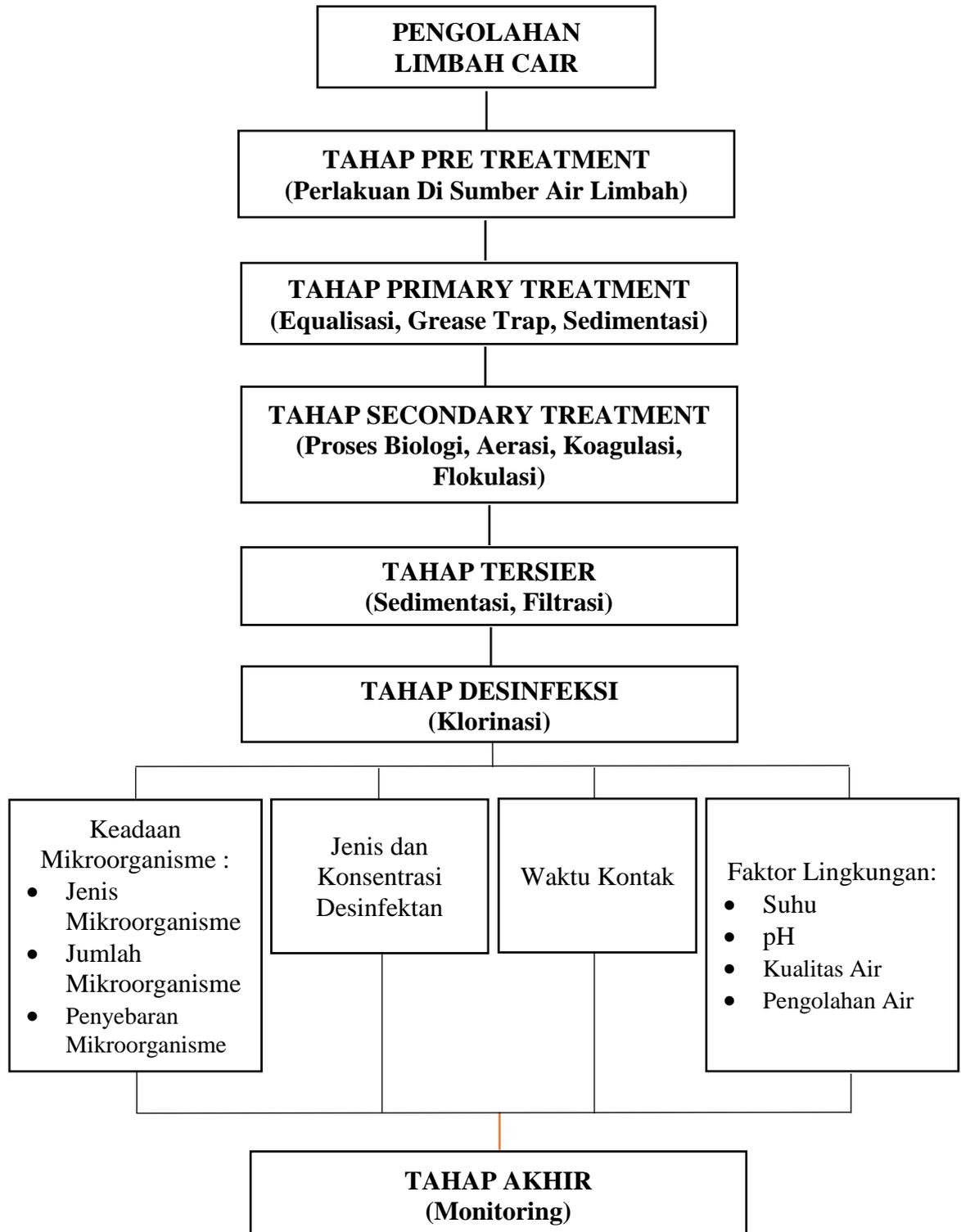
Sampel gabungan dengan volume yang sama diambil secara terpisah dari beberapa lokasi.

c. *Composite Sampling*

Teknik *composite sampling* dikumpulkan dari waktu ke waktu, baik dengan pengambilan sampel kontinu atau dengan pencampuran

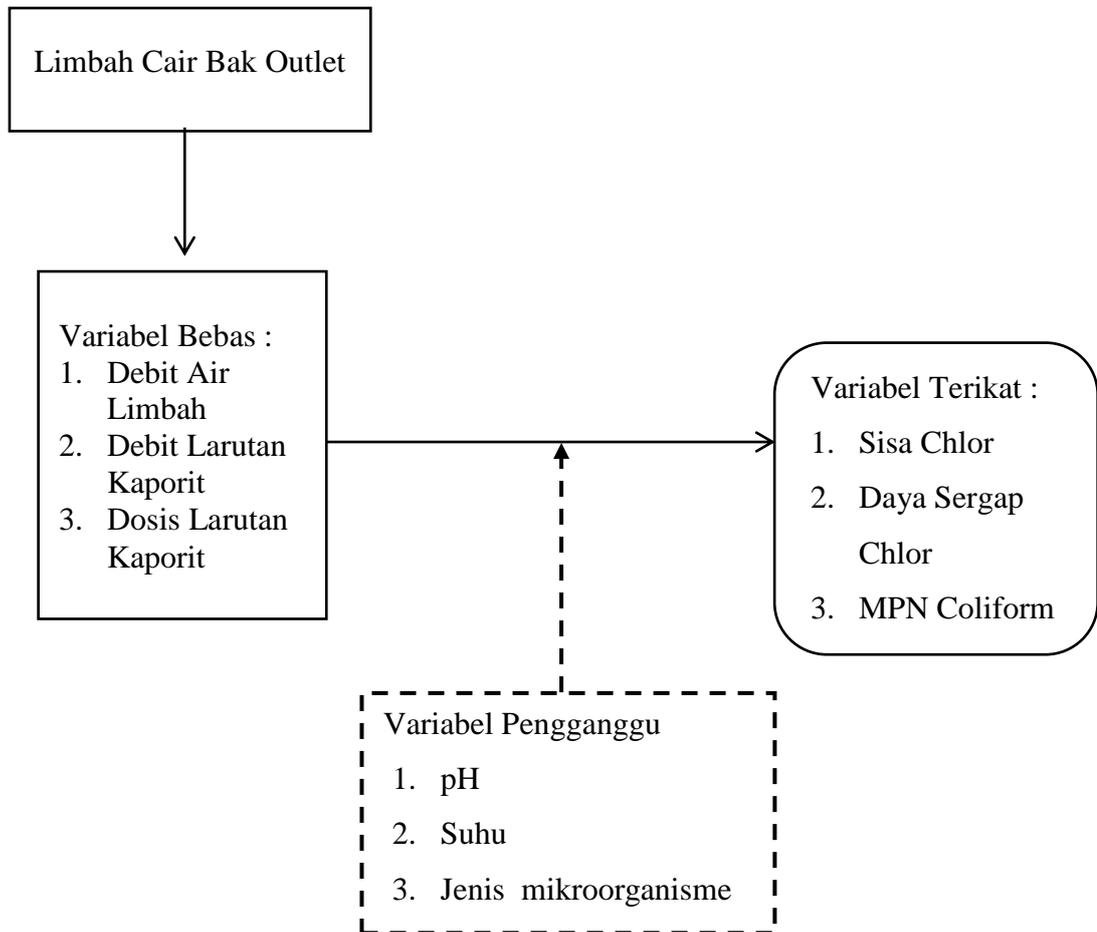
sampel diskrit. Sampel komposit mewakili rata-rata karakteristik air limbah selama periode pengambilan sampel (Nasional, 2008)

### C. Kerangka Teori



Gambar II. 4 Kerangka Teori

#### D. Kerangka Konsep



Keterangan :

- > Diteliti
- - - - -> Tidak Diteliti

Gambar II. 5 Kerangka Konsep