

TA/TL/2024/1955

TUGAS AKHIR

**IDENTIFIKASI PROTOZOA *GIARDIA LAMBLIA* DAN
CRYPTOSPORIDIUM DENGAN METODE ZIEHL-
NEELSEN PADA PDAM UNIT TRIDADI, SLEMAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**FACHRA SYIFA'A RUHCAHYANI
20513247**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

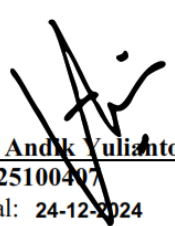
TUGAS AKHIR
IDENTIFIKASI PROTOZOA *GIARDIA LAMBLIA* DAN
CRYPTOSPORIDIUM* DENGAN METODE *ZIEHL-NEELSEN
PADA PDAM UNIT TRIDADI, SLEMAN

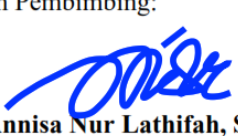
Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



FACHRA SYIFA'A RUHCAHYANI
20513247

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.
NIK.025100407
Tanggal: 24-12-2024


Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.
NIK.15513050
Tanggal: 24-12-2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng).. Ph.D.
NIK.045130401
Tanggal: 24 Desember 2024



HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI PROTOZOA *GIARDIA LAMBLIA* DAN *CRYPTOSPORIDIUM* DENGAN METODE ZIEHL- *NEELSEN* PADA PDAM UNIT TRIDADI, SLEMAN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 24 Desember 2024

Disusun Oleh:

FACHRA SYIFA'A RUHCAHYANI
20513247

Tim Penguji :

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 24 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Fachra Syifa'a Ruhcahyani

NIM: 20513247

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis selalu panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas rahmat, nikmat, dan segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Identifikasi Protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dengan Metode Ziehl-Neelsen pada PDAM Unit Tridadi, Sleman”.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini untuk memberikan wawasan terhadap pembaca dan juga untuk penulis terkait dengan pengaruh keberadaan *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dalam air olahan bagi makhluk hidup dan lingkungan. Selain itu, penyusunan tugas akhir ini menjadi salah satu syarat kelulusan dalam Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada berbagai pihak yang senantiasa berkontribusi membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Ir. Andik yulianto, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing 1 yang telah memberikan waktu, bimbingan, saran, motivasi, dan nasihat bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Aniisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan review, arahan dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan review, kritik, dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Orang tua penulis, Bapak L. M. Erawan Asman dan Ibu Satya Agustina Laksananny, serta ketiga saudara penulis yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moral, materi, ataupun doa yang selalu dipanjatkan kepada Allah SWT untuk penulis dalam menjalankan studi.
5. Seluruh dosen, staff, dan laboran Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan juga bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan.

6. Teman-teman penulis yang tergabung dalam Grup Mie Ayam Semangat, Adfira Restiyana Putri, Febrianti Kartika Putri, Intan Nuraeni, Nida Kamalia, dan Verda Cantika Surya Hamim atas segala doa dan dukungan.
7. Keluarga besar Teknik Lingkungan angkatan 2020

Dalam penulisan tugas kahir penulis menyadari masih banyak kekurangan baik dalam tata cara penulisan maupun konten, maka dari itu penulis menerima kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat kepada orang yang membacanya dan juga penulis.

Yogyakarta, 24 Desember 2024



Fachra Syifa'a Ruhcahyani

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

FACHRA SYIFA'A RUHCAHYANI. Identifikasi Protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dengan Metode Ziehl-Neelsen pada PDAM Unit Tridadi, Sleman. Dibimbing oleh Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T. dan Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Air bersih yang aman dan layak konsumsi adalah air yang telah memenuhi standar kualitas baku mutu, sehingga tidak menimbulkan masalah kesehatan bagi manusia. Penyediaan air bersih memiliki peran penting dalam meningkatkan standar kualitas hidup masyarakat dan menurunkan angka risiko penularan penyakit gastrointestinal yang disebabkan oleh parasite protozoa seperti *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*. Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PDAM) Unit Tridadi, Kabupaten Sleman merupakan salah satu unit operasional perusahaan daerah yang bergerak dalam bidang penyediaan air bersih. Penelitian ini ditujukan untuk mengidentifikasi keberadaan *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dalam air yang bersumber pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Unit Tridadi. Metode penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode pewarnaan *Ziehl-Neelsen* yang dikenal efektif dalam visualisasi oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* pada *preparate* mikroskop. Sampel air berasal dari Sumber Air Baku (sumur bor dan *deep well*), *Reservoar*, dan pipa distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiap sampel mengandung oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia*. Analisis deskriptif menunjukkan hubungan antara tingkat kontaminasi dengan parameter kualitas air lainnya, seperti kekeruhan, pH dan suhu.

Kata kunci: *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, kualitas air, metode *Ziehl-Neelsen*, PDAM Unit Tridadi.

ABSTRACT

FACHRA SYIFA'A RUHCAHYANI. *Thesis Title Identification of Protozoa Giardia lamblia and Cryptosporidium with Ziehl-Neelsen Method at PDAM Tridadi Unit. Supervised by Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T. and Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D..*

Clean water that is safe for consumption meets established quality standards and does not pose health risks to humans. Providing access to clean water is crucial for improving the quality of life and reducing the risk of gastrointestinal diseases caused by protozoan parasites, such as Giardia lamblia and Cryptosporidium. The Regional Drinking Water Company (PDAM) Tridadi Unit in Sleman Regency is one of the operational units focused on delivering clean water. This research aims to identify the presence of Giardia lamblia and Cryptosporidium in water sourced from the PDAM Tridadi Unit. The study was conducted using the Ziehl-Neelsen staining method, which is known to effectively visualize Cryptosporidium oocysts and Giardia lamblia cysts in microscope preparations. Water samples were collected from various sources, including drilled wells, deep wells, reservoirs, and distribution pipes. The results indicated that each sample contained both Cryptosporidium oocysts and Giardia lamblia cysts. Descriptive analysis was conducted to examine the relationship between contamination levels and other water quality parameters, such as turbidity, pH, and temperature.

Keywords: *Cryptosporidium, Giardia lamblia, PDAM Tridadi Unit, water quality, Ziehl-Neelsen method.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Rencana Pengamanan Air Minum terhadap Parameter Mikrobiologi..	7
2.2 <i>Giardia lamblia</i>	8
2.3 <i>Cryptosporidium</i>	10
2.4 Ziehl-Neelsen	13
2.5 Standar Kualitas Air Minum.....	14
2.6 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Lokasi.....	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Prosedur Analisis Data	20
3.3.1 Pengambilan Sampel Air	21
3.3.2 Uji Laboratorium	21
3.4 Analisis Data.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Kondisi Eksisting PDAM Unit Tridadi	25
4.2 Hasil Pengamatan Sampel Uji.....	28
4.2.1 Analisis <i>Cryptosporidium</i> pada Sampel Air PDAM Unit Tridadi	28
4.2.2 Analisis <i>Giardia lamblia</i> pada Sampel Air PDAM Unit Tridadi	32

4.2.3 Analisis <i>Giardia lamblia</i> dan <i>Cryptosporidium</i> di Lingkungan..	34
4.2.4 Analisis <i>Giardia lamblia</i> dan <i>Cryptosporidium</i> dalam Unit Pengolahan	36
4.2.5 Analisis Standar Kualitas Air Minum terkait Parameter Mikrobiologi	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	51
RIWAYAT HIDUP	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum.....	14
Tabel 2. 2 <i>National Primary Drinking Water Regulation EPA</i>	15
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 4. 1 Kualitas Air PDAM Unit Tridadi	27
Tabel 4. 2 Perbandingan <i>Cryptosporidium</i> dengan Referensi	29
Tabel 4. 3 Perbandingan <i>Giardia lamblia</i> dengan Referensi	32
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kualitas Sumber Air Baku PDAM Unit Tridadi Bulan September 2024	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Morfologi Kista <i>Giardia lamblia</i> , (b) Morfologi Trofozoit <i>Giardia lamblia</i>	9
Gambar 2. 2 Siklus Hidup <i>Giardia lamblia</i>	10
Gambar 2. 3 Morfologi Oosit <i>Cryptosporidium</i>	12
Gambar 2. 4 Siklus Hidup <i>Cryptosporidium</i>	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 (a) Kantor PDAM Unit Tridadi (Titik Koordinat -7.6943, 110.3444), (b) Instalasi Produksi dan Pengolahan Air Unit Tridadi (Titik Koordinat -7.6921, 110.3489).....	19
Gambar 3. 3 Prosedur Pewarnaan Ziehl-Neelsen	22
Gambar 4. 1 (a) Sumber Air Baku Utama (deep well) dengan Kedalaman Galian sekitar 40 meter, (b) Sumber Air Baku (Sumur Bor) 2 dengan Kedalaman Galian sekitar 20 meter	25
Gambar 4. 2 (a) Sumber Air Baku (shallow well) Cadangan dengan Kedalaman Galian sekitar 8 meter, (b) Wilayah Pengolahan dan Produksi Air yang Dominan dengan Pemukiman dan Lahan Pertanian.....	26
Gambar 4. 3 (a) Oosit <i>Cryptosporidium</i> pada feses dengan pewarnaan Ziehl-Neelsen; (b) Oosit <i>Cryptosporidium</i> dalam Sampel Uji Unit Distribusi; (c) Kista <i>Isospora belli</i> dalam Sampel Feses Pasien AIDS; (d) Kista <i>Isospora belli</i> dalam Sampel Uji Unit Distribusi; (e) Oosit <i>Cyclospora cayetanensis</i> pada sampel air sumur gali; (f) Oosit <i>Cyclospora cayetanensis</i> pada sampel Uji Unit Sumber Air Baku II (deep well).....	31
Gambar 4. 4 Proses Pengolahan Air di Murangan	36

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel, Pewarnaan Sampel, dan Pengamatan Mikroskop	51
Lampiran 2 Identifikasi Keberadaan <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia lamblia</i> dalam Sampel Uji	53
Lampiran 3 Standar Baku Mutu Parameter Pencemar Air menurut Permenkes dan US EPA	55
Lampiran 4 Data Hasil Uji Kualitas Air PDAM Unit Tridadi	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah dasar fundamental untuk semua aktivitas biologis dan manusia. Air diyakini sebagai sumber daya alam yang tidak akan pernah habis dan akan selalu tersedia setiap saat (Djana, 2023). Kelimpahan air di Bumi tidak merata karena tidak ada penambahan yang substansial dari waktu ke waktu (Afiatun, Wahyuni dan Hamdan, 2018 dalam Djana, 2023). Air ialah faktor terpenting dalam kebutuhan hidup setiap manusia. Air harus terlebih dahulu melewati proses pengolahan agar menjadi air bersih dan tidak membahayakan bagi kesehatan. Menurut PP No. 122/2015, air baku adalah air yang terkumpul dari air permukaan, tanah, dan air angkasa yang sesuai dengan standar tertentu. Air produksi adalah air olahan dari unit produksi di instalasi pengolahan air. Air produksi yang baik harus sesuai dengan syarat mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023 (Atikah , et al., 2023).

Air bersih memiliki peran dalam menurunkan angka penularan maupun penderita penyakit serta air bersih juga sangat berperan penting dalam meningkatkan standar dan taraf/kualitas hidup masyarakat. Hingga saat ini penyediaan air bersih untuk masyarakat Indonesia masih mengalami berbagai kendala serta hambatan dan kendala beserta hambatan tersebut belum dapat diselesaikan sepenuhnya sehingga masyarakat mengalami kesulitan dalam mendapatkan air bersih (Lomi et al., 2021 dalam Irawati *et al.*, 2023). Air bersih merupakan air yang aman digunakan untuk keperluan sehari-hari. Air bersih dapat dimanfaatkan diberbagai sector seperti sector rumah tangga, pertanian, peternakan, industry, dan infrastruktur. Air bersih yang layak digunakan adalah air yang telah memenuhi standar kualitas sehingga aman digunakan dan tidak menimbulkan masalah Kesehatan bagi manusia. Sumber air bersih yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dengan bantuan teknologi pengolahan air adalah air sungai, danau, dan air tanah yang dapat diolah menjadi air minum (Zulhilmi, et al., 2019). Pentingnya

Pengelolaan air bersih yang berkelanjutan serta peningkatan kesadaran akan perlunya menjaga kelestarian sumber air adalah solusi dalam pemenuhan sumber daya air yang aman dan cukup di masa depan.

Air minum adalah air hasil pengolahan yang digunakan untuk dapat dikonsumsi. Umumnya masyarakat memperoleh air minum dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Tetapi air olahan PDAM rentan terhadap pencemaran yang mempengaruhi kualitas air untuk dikonsumsi secara langsung dan berkelanjutan. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 yang membahas terkait Kesehatan Lingkungan menyebutkan bahwa air minum merupakan air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat Kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum yang aman di konsumsi harus memenuhi standar baku mutu fisika, kimia, mikrobiologi, dan radioaktif yang ada dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

Parameter yang diterapkan dalam penelitian yang berkaitan dengan aspek mikrobiologi wajib dilakukan dan diuji secara berkala. Pengujian berkala dilakukan dengan tujuan agar air minum yang dikonsumsi masyarakat tidak mengandung mikroba patogen serta merupakan salah satu syarat wajib bagi penyelenggara pengolahan air minum, sehingga tidak mendistribusikan air minum yang dapat menimbulkan penyakit dan dapat ditularkan melalui air (*Water Borne Disease*). Berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023 menyebutkan bahwa tidak boleh ditemukan adanya *Escherichia coli* dan *Total coliform* dalam air minum karena keberadaan kedua bakteri ini mampu mengindikasikan adanya kontaminasi, sehingga tidak aman untuk dikonsumsi. Keberadaan bakteri *Escherichia coli* dan *Total coliform* dalam air minum akan memberikan dampak buruk bagi kesehatan, salah satu bentuk yang langsung dapat diidentifikasinya adanya bakteri tersebut adalah penyakit diare (Riyanti, et al., 2021).

Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Sembada (PDAM Tirta Sembada) merupakan Perusahaan daerah yang bergerak dalam bidang penyediaan air bersih. PDAM Tirta Sembada memberikan jasa pelayanan air bersih kepada Masyarakat Kabupaten Sleman dengan sistem perpipaan, sehingga pengecekan

terhadap kualitas, kuantitas, dan kontinuitas khususnya kualitas kadar mikroba pathogen air dilakukan secara rutin dan berkala. PDAM Tirta Sembada Unit Tridadi merupakan salah satu unit operasional yang melayani wilayah Tridadi yang terletak di Jalan Magelang, Dusun Krapyak, Kelurahan Triharjo, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Unit operasional Tridadi menggunakan sumber air baku yang berasal dari mata air, sumur dangkal (*Shallow well*), dan sumur dalam (*Deep well*). Penentuan lokasi penelitian di PDAM Tirta Sembada Unit Tridadi ini disebabkan karena belum pernah dilakukan penelitian terkait keberadaan protozoa patogen di dalam hasil olahan yang merugikan konsumen.

Standar kualitas air minum didasarkan pada U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), dimana lembaga ini mengatur standar kualitas air minum dengan menetapkan pengujian 5 parameter kontaminan yaitu *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, *Legionella*, *Total coliform*, *Escherichia coli* dan Virus yang berpotensi menyebabkan diare. Sumber kontaminan di air minum berasal dari pencemaran kotoran/limbah manusia dan hewan di sumber air baku dan kurang maksimalnya performa pengolahan air, sehingga air minum yang dikonsumsi menyebabkan penyakit. Oleh karena itu, proses disinfeksi diperlukan dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan mikroorganisme patogen (Said, 2007).

Cryptosporidium merupakan protozoa dalam filum apicomplexa yang dapat berkembang di dalam saluran pencernaan vertebrata sepanjang siklus hidupnya. Keberadaan parasite ini dicirikan dengan adanya organel khusus pada ujung sel yang mengandung bahan yang dapat menembus sel inang dan menyebabkan infeksi (United States Environmental Protection Agency, 2001). *Cryptosporidium* dapat ditularkan dari individu ke individu atau dari hewan ternak ke individu melalui makanan dan air yang dikonsumsi sehari-hari. Penularan *cryptosporidium* dapat menyebabkan infeksi pada usus halus dan menimbulkan diare akut pada manusia dan hewan (Wijayanti, 2017). *Cryptosporidium* umumnya ditemukan pada air permukaan karena lebih rentan terkontaminasi dari pembuangan limbah dan limpasan, namun tidak jarang ditemukan oosit *cryptosporidium* pada air tanah yang telah terkontaminasi oleh limbah rumah tangga atau pertanian (United States Environmental Protection Agency, 2001).

Giardia lamblia merupakan parasite protozoa berbentuk trofozoit dan kista berbentuk oval. kista ini berasal dari feses yang dikeluarkan oleh inang yang telah terinfeksi dan bergerak secara pasif melalui lingkungan. Apabila kista ini tertelan maka dapat ditularkan ke inang vertebrata lainnya. Trofozoit dapat menyebabkan infeksi yang ada di dalam usus halus inang dan kemudian membentuk kista berbentuk bulat yang dapat melindungi kista saat dikeluarkan dari inang dan dibawa melalui air atau media lainnya (United States Environmental Protection Agency, 2000). *Giardia lamblia* dapat ditularkan dari hewan ke hewan atau dari hewan ke manusia (United States Environmental Protection Agency, 1999). Menurut EPA, *Giardia lamblia* dapat ditemukan pada air permukaan dan air tanah yang telah terkontaminasi oleh pembuangan limbah dan pengendapan feses. Protozoa ini juga dapat ditemukan pada sumber air dengan kualitas tinggi yang tidak terkontaminasi oleh air limbah.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan latar belakang sebelumnya yang mengemukakan bahwa air minum layak konsumsi tidak boleh mengandung protozoa patogen yang menyebabkan penyakit pada konsumen, maka dilakukan penelitian terkait keberadaan protozoa dalam air minum di Perusahaan Umum Daerah Tirta Sembada (PDAM Tirta Sembada) Unit Tridadi. Selanjutnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi bagi penelitian selanjutnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, berikut rumusan masalah dari penelitian:

- 1) Apakah terdapat protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* di dalam air hasil olahan PDAM Unit Tridadi?
- 2) Apakah pengelolaan di PDAM Unit Tridadi sudah mampu menghilangkan *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini antara lain:

- 1) Mengetahui keberadaan protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* di dalam air hasil olahan PDAM Unit Tridadi
- 2) Mengetahui kemampuan pengelolaan air di PDAM Unit Tridadi untuk menghilangkan *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*?

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini merupakan manfaat dari penelitian

- 1) Mengetahui kualitas air minum PDAM Unit Tridadi
- 2) Mengetahui kemampuan pengelolaan air di PDAM Unit Tridadi dalam menghilangkan mikroba patogen

1.5 Ruang Lingkup

Berikut merupakan ruang lingkup penelitian

- 1) Lokasi Pengambilan sampel di PDAM Tirta Sembada Unit Tridadi, Dusun Krapyak, Kelurahan Triharjo, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman
- 2) Pengamatan dilakukan di 3 titik, yaitu sumber air baku, unit disinfeksi, dan unit distribusi.
- 3) Pengujian dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Universitas Islam Indonesia
- 4) Pengamatan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dilakukan dengan mikroskop dengan perbesaran lensa objektif 10x.
- 5) Pengujian pewarnaan *Ziehl-Neelsen* dan pengamatan mikroskop *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dimulai dari Agustus – Oktober 2024.
- 6) Penelitian terbatas pada identifikasi keberadaan *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* pada 3 titik pengamatan tanpa analisis efektivitas konsentrasi desinfektan di unit disinfeksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rencana Pengamanan Air Minum terhadap Parameter Mikrobiologi

Rencana Pengamanan Air Minum (RPAM) merupakan suatu pendekatan penilaian risiko dan pendekatan manajemen risiko yang sistematis untuk memastikan keamanan pasokan air minum dapat mencakup seluruh tahapan distribusi air dari sumber air hingga pelanggan (World Health Organization, 2023). Konsep Rencana Pengamanan Air Minum adalah cara yang efektif dalam mengelola keamanan pasokan air minum secara konsisten untuk dikonsumsi oleh masyarakat. Pendekatan konsep ini memanfaatkan beberapa prinsip dan komponen dari manajemen risiko. Pelaksanaan RPAM memiliki 3 komponen Utama, terdiri dari:

- 1) Komponen Sumber, yaitu program pengamanan air minum pada wilayah sumber air, bertujuan mengendalikan pencemaran dan menjaga kualitas sumber air baku
- 2) Komponen Operator, yaitu program pengamanan air minum pada system pengolahan air, bertujuan meningkatkan kualitas sumber air baku melalui proses pengolahan air minum
- 3) Komponen Konsumen, yaitu program pengamanan air minum pada pelanggan atau konsumen, bertujuan menjaga kualitas air olahan dari rekontaminasi melalui perilaku hidup bersih dan sehat.

Sasaran RPAM memiliki prinsip 4K dalam rangka memenuhi penyediaan air minum, yaitu:

- 1) Kualitas (1K), yaitu air minum layak konsumsi telah memenuhi standar kualitas air minum dalam Peraturan Menteri Kesehatan
- 2) Kuantitas (2K), yaitu pasokan air minum yang telah memenuhi standar kebutuhan pokok air minum sebesar 60 liter/orang/hari

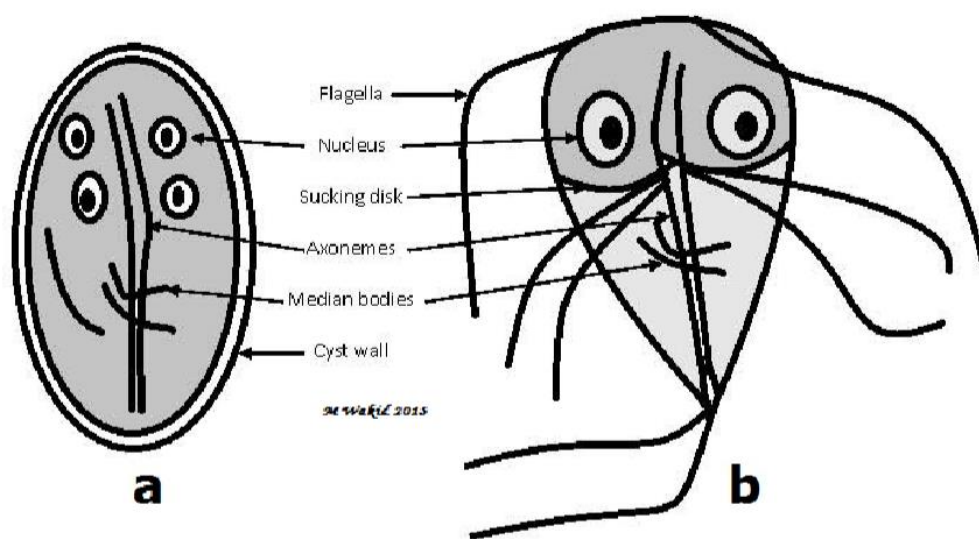
- 3) Kontinuitas (3K), yaitu keberlanjutan layanan distribusi air minum tidak terputus selama 24 jam dengan kondisi tekanan minimal 5 – 10 meter pada titik terjauh
- 4) Keterjangkauan (4K), yaitu air minum yang dapat diakses oleh masyarakat dengan tarif tidak melampaui 4% dari pendapatan masyarakat pelanggan.

Pemerintah sedang berusaha untuk mencapai Sustainable Development Goals (SDGs) terkait penyediaan dan pengelolaan air bersih serta sanitasi yang layak dan berkelanjutan. Rencana pembangunan tersebut tertuang dalam target SDGs ke-6.1 tentang air minum yang aman dan terjangkau. Upaya pemerintah dalam mewujudkan hal tersebut adalah dengan meningkatkan persentase rumah tangga yang menggunakan layanan air minum yang telah diolah Perusahaan Umum Daerah Air Minum secara aman. Kelayakan dan keamanan air olahan Perumda AM mengacu pada standar kualitas air minum dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 yang menyatakan bahwa air minum yang aman dan layak konsumsi adalah air yang tidak melewati batas baku mutu parameter pencemar salah satunya parameter mikrobiologi

2.2 *Giardia lamblia*

Giardia lamblia merupakan protozoa yang ditemukan oleh Van Leeuwenhock tahun 1681, dicirikan memiliki flagella dan memiliki dua inti yang dapat dilihat dibawah mikroskop. Kista *Giardia lamblia* dilaporkan dapat menyebar melalui air oleh Rebtuff tahun 1954 (Harun, et al., 2019). Giardiasis merupakan penyakit multifaktoral dengan interaksi kompleks antara inang dan parasite. Ketika kista giardia (*Giardia Cysts*) berada dalam tubuh inang maka terjadi perubahan bentuk kista menjadi trofozoit yang disebabkan rendahnya kombinasi pH lambung dan pelepasan enzim pancreas di duodenum. Kemudian trofozoit membelah dan menempel erat pada enterosit usus kecil. Kombinasi antara adhesi yang ketat dengan produk samping parasite yang diketahui dengan baik dapat mengakibatkan gejala khas diare, kembung, sakit perut, dan tinja berbau busuk (Rumsey & Waseem, 2023).

Giardia lamblia adalah salah satu spesies *Giardia* yang paling banyak ditemukan pada mamalia yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia. siklus hidup protozoa ini terdiri dari dua fase yaitu kista dan trofozoit. Kista *G. lamblia* matang berisi empat inti (*nucleus*) dan berbentuk oval yang resisten terhadap lingkungan dengan suhu lembab dan dingin, sedangkan trofozoit *G. lamblia* merupakan bentuk vegetative yang mampu berkembang biak di dalam saluran pencernaan manusia dan menyebabkan gejala gastrointestinal.



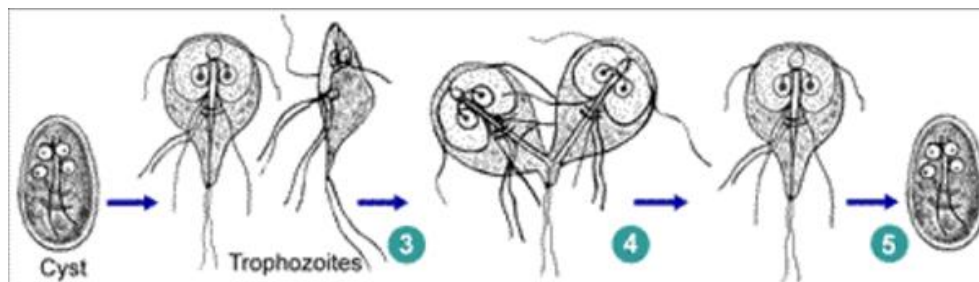
Gambar 2. 1 (a) Morfologi Kista *Giardia lamblia*, (b) Morfologi Trofozoit *Giardia lamblia*

(Sumber: (Shalaby & Wakid, 2013))

Kista *Giardia lamblia* berbentuk oval dengan panjang 8 – 12 μm dan lebar 5 – 10 μm yang melindungi empat inti (nukleus). Umumnya kista ini bersifat resisten terhadap iodine dan klorin, tetapi proses pemanasan dan pengeringan dapat menghilangkan sifat infeksiusnya. Trofozoit *Giardia lamblia* berbentuk seperti buah pir dengan organel spiral, panjang yang dimiliki sekitar 10 – 12 μm dan lebar 5 – 15 μm dengan dua inti (nukleus) simetris dan empat pasang flagella. Kista *G. lamblia* tidak mudah tereliminasi oleh pengolahan air dengan kadar klorin standar (Harun, et al., 2019).

Siklus hidup *Giardia lamblia* terdiri dari dua stadium, yaitu trofozoit dan kista. Siklus ini dimulai dari penularan feces yang dikeluarkan inang terinfeksi ke

host melalui konsumsi air dan makanan yang telah terkontaminasi atau kontak fecal-oral secara langsung. Kista *Giardia lamblia* yang tertelan dan mencapai lambung akan mengalami proses eksistasi. Keasaman lambung dapat memicu kerusakan dinding kista, kemudian masuk ke usus halus. Kista dalam usus halus akan melepaskan dua eksistasi yang kemudian membelah menjadi empat trofozoit. Trofozoit ini akan berkembangbiak pada duodenum di usus halus bagian atas tempat empedu yang dapat memenuhi kebutuhan hidupnya. Setelah itu, trofozoit mengalami proses ensistasi dan berpindah menuju usus bagian bawah yang akan dikeluarkan ke lingkungan sebagai kista *Giardia lamblia* infeksi (Fink, et al., 2020).



Gambar 2. 2 Siklus Hidup *Giardia lamblia*
(Sumber: Center for Disease Control and Prevention, 2024)

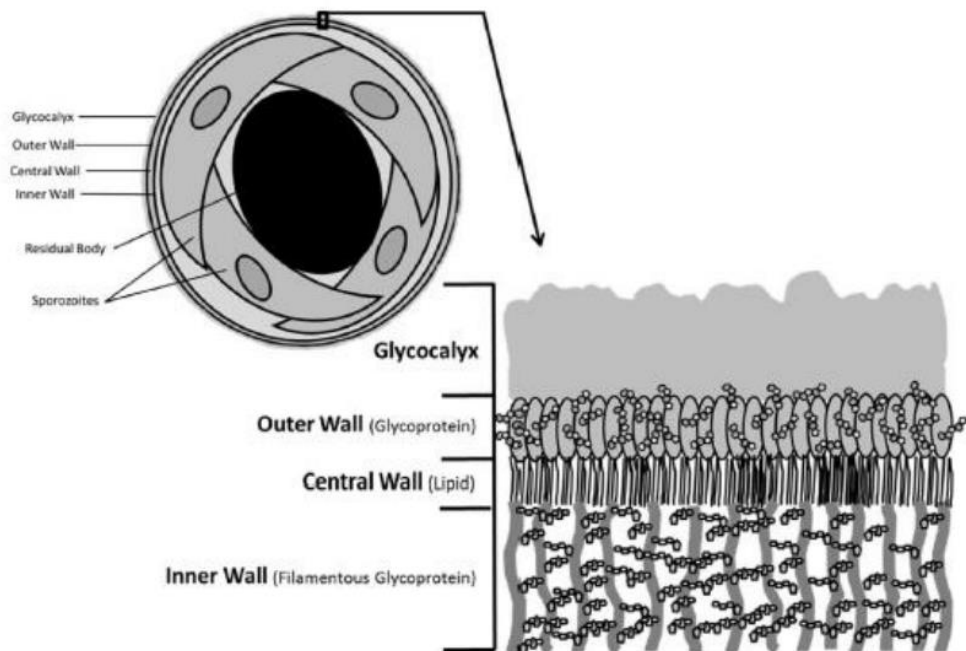
Giardia lamblia sering ditemukan pada sejumlah besar hewan ternak dan hewan peliharaan (khususnya babi, kucing, dan anjing), hewan air, dan satwa liar. Infeksi protozoa ini sering terjadi pada penduduk dengan sanitasi rendah (Resnhaleksmana, et al., 2021). *Giardia lamblia* yang telah ditemukan saat ini terdiri dari 5 spesies yang dapat dibedakan berdasarkan morfologi trofozoitnya, yaitu *G. lamblia*, *G. muris*, *G. agilis*, *G. psittaci*, dan *G. ardeae*. Umumnya *G. muris*, *G. agilis*, *G. psittaci*, dan *G. ardeae* dapat menginfeksi hewan dan tidak menyebabkan penyakit yang signifikan pada manusia, sedangkan *G. lamblia* dapat menyebabkan penyakit sporadic atau epidemic (Harun, et al., 2019).

2.3 *Cryptosporidium*

Cryptosporidium merupakan protozoa intraseluler obligat yang memiliki kemampuan menyelesaikan siklus hidupnya secara intraseluler ekstrasitoplasma

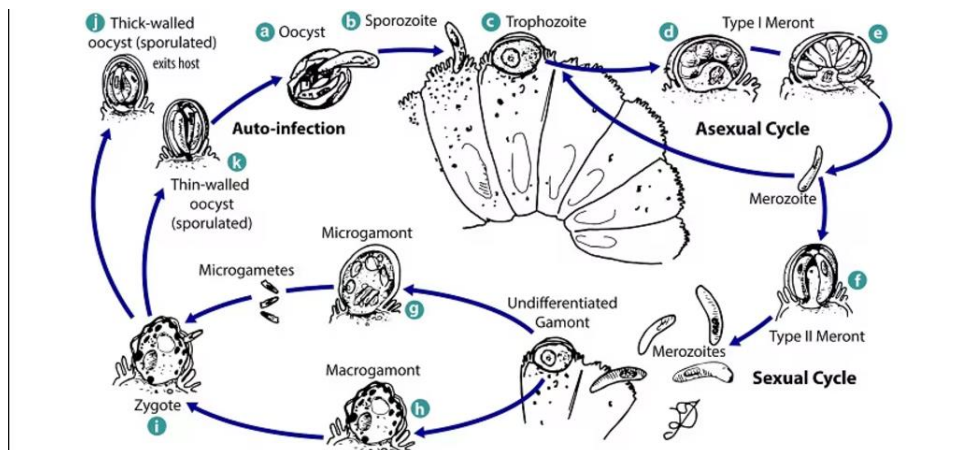
dalam sel epitel usus inang (Biderouni & Saluhi, 2014). *Cryptosporidium* pertama kali ditemukan oleh Ernest Edward Tyzzer tahun 1907 pada kelenjar lambung tikus yang dapat dicirikan dengan tidak memiliki sporokista di dalam oosit. *Cryptosporidium* pada manusia pertama kali ditemukan pada tahun 1976 yang menginfeksi anak perempuan imunokompeten dan orang dewasa immunosupresi dengan gejala diare. infeksi *cryptosporidium* di Indonesia pertama kali dilaporkan pada tahun 1989, ditemukan pada anak-anak yaitu 4 dari 413 anak yang positif ookista *cryptosporidium* dengan gejala diare (Maryanti, 2017).

Cryptosporidiosis merupakan penyakit yang disebabkan oleh penularan *cryptosporidium* melalui konsumsi air yang terkontaminasi oleh feses hewan atau manusia terinfeksi (Samarang, et al., 2022). *Cryptosporidium* adalah parasite protozoa enteric yang ada di dalam manusia dan hewan. Protozoa ini berbentuk ookista yang menyebar melalui feses dari inang secara langsung. Ookista *cryptosporidium* merupakan tahap akhir infeksi yang ditemukan pada feses manusia atau hewan terinfeksi. *Cryptosporidium* berbentuk ookista dapat menyebar melalui feses dari inang secara langsung. Ukurannya berkisar antara 4 – 6 μm , berbentuk hampir oval dengan 4 sporozoite yang dilindungi oleh dua dinding tebal saat matang. Ookista dapat memecah menjadi sporozoite yang bersifat refraktil, tidak terlihat, dan tersusun atas satu hingga delapan granula menonjol. Ookista tidak mudah tereliminasi oleh pengalohan air yang sederhana dan memiliki kemampuan bertahan hidup di lingkungan (Gerace, et al., 2019).



Gambar 2. 3 Morfologi Oosit *Cryptosporidium*
(Sumber: (Mohseni, 2016))

Siklus hidup *Cryptosporidium* dimulai dari penularan feses yang dikeluarkan inang terinfeksi ke host melalui konsumsi air dan makanan yang telah terkontaminasi atau kontak dengan hewan/individu terinfeksi secara langsung. Oosit *Cryptosporidium* yang tertelan/terhirup dapat bersporulasi. Oosit ini memiliki 4 sporozoite yang akan dilepaskan menjadi parasite dalam sel epitel saluran pencernaan/saluran pernapasan. Sel-sel ini memiliki brush border yang menjadi tempat terjadinya perkembangbiakan aseksual (skizogoni atau merogoni) kemudian berkembangbiak secara seksual (gametogoni) dan menghasilkan mikrogamon (jantan) dan makrogamon (betina). Setelah terjadi pembuahan antar makrogamet oleh mikrogamet, oosit dapat berkembang dan bersporulasi pada inang terinfeksi. Zigot menghasilkan dua jenis oosit yang berbeda, yaitu oosit berdinding tebal dan oosit berdinding tipis. Oosit berdinding tipis terlibat dalam siklus autoinfeksi internal, sedangkan oosit berdinding tebal dikeluarkan dari inang ke lingkungan melalui feses. Oosit bersifat infeksius setelah dikeluarkan ke lingkungan dan memungkinkan penularan secara fekal-oral secara langsung (Gerace, et al., 2019).



Gambar 2. 4 Siklus Hidup *Cryptosporidium*
(Sumber: Center for Disease Control and Prevention, 2024)

Cryptosporidium yang telah ditemukan saat ini terdiri dari 16 spesies, yaitu *C. parvum*, *C. hominis*, *C. felis*, *C. canis*, *C. varani*, *C. suis*, *C. bovis*, *C. serpentis*, *C. meleagridis*, *C. baileyi*, *C. molnari*, *C. scophithalmi*, *C. Anderson*, *C. wrairi*, *C. muris*, *C. galli* tetapi hanya delapan spesies yang ditemukan dapat menginfeksi manusia. *Cryptosporidium* dapat menular melalui interaksi dari individu ke individu, dari hewan ke individu, dan dari lingkungan (Apsari, 2020).

- Transmisi dari manusia ke manusia: infeksi melalui fecal oral dan kontak langsung dengan penderita.
- Transmisi dari hewan ke manusia: infeksi melalui fecal oral dari hewan terinfeksi atau sebaliknya.
- Transmisi melalui air minum: infeksi melalui air minum yang tercemar oleh *cryptosporidium*.

2.4 Ziehl-Neelsen

Metode *Ziehl-Neelsen* di temukan oleh Franz Ziehl (ahli bakteri bakteriologi) dan Friedrich Neelsen (ahli patologi). *Ziehl-Neelsen* merupakan pewarnaan diferensial dengan menggunakan pewarnaan lebih dari satu macam zat warna yang tahan terhadap bakteri tahan asam (BTA) sehingga dapat membedakan BTA dengan non BTA. Bakteri Tahan Asam merupakan kelompok bakteri yang

bersifat tahan terhadap dekolorisasi (pelunturan warna dengan asam alkohol) sehingga digolongkan dalam gram positif. BTA memiliki karakter *acid-fast* yaitu kondisi dinding sel yang tebal yang disebabkan kadar lipid kadar peptidoglikan yang tinggi sehingga sulit terjadi dekolorisasi (Febriani, et al., 2022).

Teknik pewarnaan ini memiliki keunggulan dalam pemeriksaan terhadap bakteri tahan asam, yaitu latar belakang akan berwarna biru terang sehingga basil merah tampak jelas, reagen yang mudah didapat dan terjangkau, tidak memakan waktu lama. Selain itu, metode ini cukup sederhana dengan sensitifitas dan spesifitas yang cukup tinggi (Anam & Rahmawati, 2022).

2.5 Standar Kualitas Air Minum

Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 Tentang Kualitas Lingkungan menyebutkan bahwa air minum merupakan air yang melalui pengoalahan atau tanpa pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Standar baku mutu kesehatan lingkungan media air minum memuat parameter mikrobiologi, fisikia, kimia, dan radioaktif. Standar ini menjadi acuan bagi penyelenggara air minum. Upaya ini dilakukan untuk pengamanan dan pengendalian kualitas air minum dengan tujuan meningkatkan kualitas air minum dan memberikan manfaat bagi kesehatan masyarakat. Berikut tabel standar baku mutu air minum:

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2	<i>Total coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA

(Sumber: Permenkes No. 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan)

Standar kualitas air minum yang ditetapkan oleh permenkes di uji secara berkala oleh penyelenggara dan produsen/penyedia/penyelenggara air minum baik

parameter yang ditetapkan oleh pemerintah (parameter wajib) dan pemerintah daerah (parameter khusus). Selain itu, terdapat parameter tambahan khusus parameter mikrobiologis yang ada dalam regulasi yang ditetapkan oleh Environmental Protection Agency (EPA). Beberapa parameter mikrobiologis yang wajib diuji menurut EPA dalam *National Primary Drinking Water* terdiri dari *Cryptosporidium*, *Giardia Lamblia*, *Legionella*, *Total coliform*, dan *Escherichia coli*. Parameter kontaminan mikrobiologis yang ada dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan yang mengatur terkait kualitas air minum yang dapat di konsumsi memiliki perbedaan dengan standar kualitas air minum EPA, dimana tidak pengujian standar kadar maksimum yang diperbolehkan dari *Giardiia lamblia* dan *Cryptosporidium*.

Tabel 2. 2 *National Primary Drinking Water Regulation EPA*

Contaminant	Maximum Contaminant Level Goal (MCLG)
<i>Cryptosporidium</i>	Zero
<i>Giardia lamblia</i>	Zero

(Sumber: *Environmental Protection Agency*, diakses 2 November 2024)

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dilakukan untuk mendapatkan acuan perbandingan. Perbandingan antar referensi yang dapat membantu menunjukkan dan memposisikan orisinalitas dari penelitian. Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
(Mahardianti, et al., 2020)	Mengevaluasi keberadaan <i>Cryptosporidium sp.</i> Pada air Sungai Ciliwung dengan menggunakan metode yang beragam seperti metode mikroskopis pewarnaan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ditemukan sampel positif <i>Cryptosporidium sp.</i> pada deteksi pewarnaan modifikasi <i>Ziehl Neelsen</i>

	modifikasi <i>Ziehl Neelsen</i> (mZN), <i>Auramin Fenol</i> (AF), <i>Immunofluorescent Assay</i> (IFA), dan <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR). Perbandingan dilakukan untuk mengetahui kemampuan metode dengan tingkat keakuratan tertinggi	(mZN). Hal ini diduga disebabkan oleh jumlah ookista yang sangat sedikit atau dibawah batas deteksi dari pewarnaan mZn. Selain itu, metode mZN memiliki sensitivitas yang rendah yaitu 37 – 90% dan tidak semua ookista dapat menyerap bahan pewarna dengan baik.
(Nufutomo & Muntalif, 2017)	Tujuan penelitian untuk mengetahui status kualitas air di hulu sungai citarum dan hubungan/pengaruh dari parameter fisika dan kimia air terhadap bakteri patogen (bakteri <i>Coliform</i> dan <i>Cryptosporidium</i>). Pengecekan bakteri <i>Cryptosporidium</i> menggunakan metode pewarnaan modifikasi <i>Ziehl Neelsen</i> (mZN)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian <i>Cryptosporidium</i> dapat menggunakan metode pewarnaan <i>Ziehl Neelsen</i> . Keberadaan <i>Cryptosporidium</i> dipengaruhi oleh parameter fisika kimia, dan bakteri <i>Coliform</i> .
(El-Kowrany, et al., 2016)	Tujuan studi penelitian untuk mengidentifikasi kontaminan protozoa dalam air dengan metode pewarnaan konvensional (mZN) dan <i>flow cytometry</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kista deteksi kista <i>Giardia</i> dan ookista <i>Cryptosporidium</i> ditemukan di sampel sumber dan sampel <i>tap water</i> . Selain itu, tingginya kadar kedua protozoa juga dipengaruhi oleh suhu di titik pengambilan sampel.

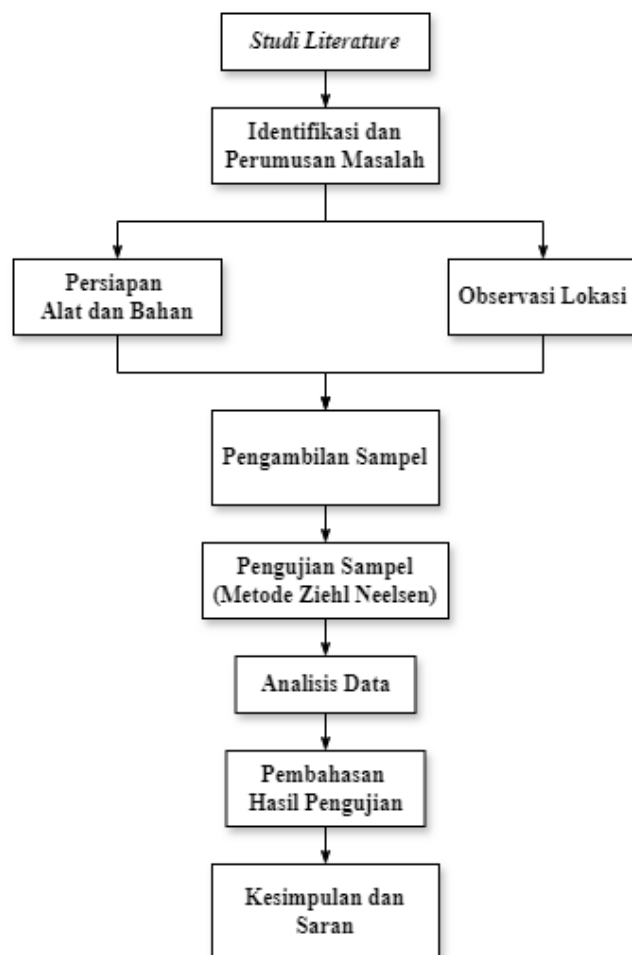
Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengujian *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dengan metode pewarnaan *Ziehl-Neelsen* dapat menentukan status kualitas air dari sumber air baku yang digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air harian. Metode pewarnaan modifikasi ini akan dilakukan pada sampel air di PDAM Unit Tridadi untuk pengujian kualitas hasil air olahannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

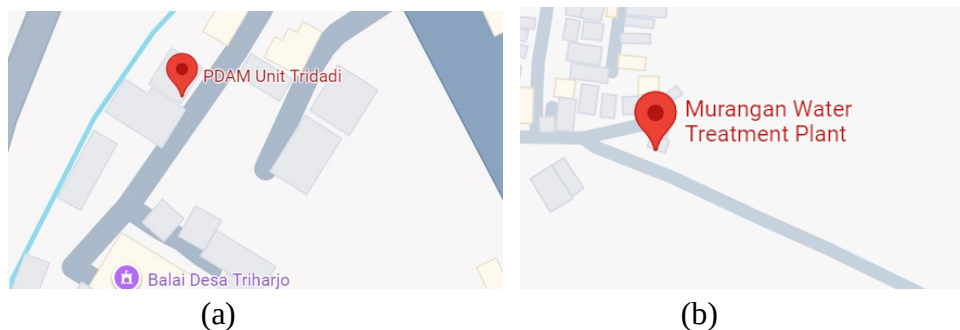
Berikut tahapan-tahapan pekerjaan dalam melakukan Identifikasi Bakteri Patogen (*Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*) menggunakan Metode *Ziehl-Neelsen* Di PDAM Unit Tridadi:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan mulai pada bulan Agustus 2024 hingga bulan Oktober 2024. Lokasi pengambilan sampel pada Instalasi Pengolahan Air Murangan PDAM Unit Tridadi dengan 3 titik pengambilan yaitu, sumber air baku, unit disinfeksi, dan unit distribusi. Instalasi Pengolahan Air PDAM Unit Tridadi berada di Jalan Panggeran 7, Triharjo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman dan kantor operasional berada di di Jalan Magelang, Dusun Krapyak, Kelurahan Triharjo, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman.



Gambar 3. 2 (a) Kantor PDAM Unit Tridadi (Titik Koordinat -7.6943, 110.3444), (b) Instalasi Produksi dan Pengolahan Air Unit Tridadi (Titik Koordinat -7.6921, 110.3489)
(Sumber: *Google Maps*, diakses 21 Oktober 2024)

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang perlu disiapkan untuk mengidentifikasi bakteri *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* menggunakan metode *Ziehl Neelsen*, sebagai berikut:

a) Alat

1. Mikroskop Olympus BX53M

Pengamatan hasil pengujian sampel menggunakan mikroskop Olympus BX35M. Mikroskop ini memiliki keunggulan utama yaitu:

- a. Gambar dengan resolusi tinggi: mikroskop ini dilengkapi dengan lensa *Plan Apochromatic Objective* dan lensa okuler berkualitas tinggi yang

memberikan kualitas gambar yang jelas dan tajam sehingga menampilkan visualisasi detail terhadap objek penelitian mikroskopik.

- b. Sistem pencahayaan: mikroskop ini memiliki pencahayaan LED yang dapat memberikan pencahayaan yang lebih stabil sehingga distribusi cahaya merata dan konsisten. Sistem pencahayaan LED dapat memberikan hasil gambar yang terang dan jelas.

b) Bahan

1. Formalin 4% 500 ml
2. Iodine 50 ml
3. Karbol fuchsin 0,3% 500 ml
4. *Decoloring solvent*/asam alkohol 3% 500 ml
5. Pewarna *counterstain* 0,3% (*methylene blue*) 500 ml

Metode pewarnaan *Ziehl Neelson* membutuhkan 3 larutan utama sebagai bahan dasar pewarnaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*, yaitu:

- a. ZN A: cat primer berupa *carbol fuchsin* 0,3% merupakan larutan yang memberikan warna merah pada sediaan sampel, berfungsi mempertahankan sifat BTA yang dibantu dengan proses pemanasan yang dapat melebarkan pori-pori dari lipid BTA sehingga warna merah pada BTA dapat terlihat.
- b. ZN B: *decoloring agent* berupa asam alkohol 3% merupakan larutan yang dapat melunturkan cat primer (ZN A) yang berfungsi mengeraskan dinding sel lipid.
- c. ZN C: *counterstain* berupa *methylene blue* 0,3% merupakan larutan yang dapat memberikan warna terhadap sel bakteri non-BTA setelah mengalami dekolorisasi oleh ZN B

3.3 Prosedur Analisis Data

3.3.1 Pengambilan Sampel Air

Penentuan pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu sampel yang diambil di beberapa titik di lokasi dapat mewakili kualitas pengelolaan air di lokasi penelitian. Sampel air diambil menggunakan metode *grab sampling*, yaitu pengambilan sampel secara langsung dari badan air yang dipantau. Metode ini dapat menggambarkan karakteristik dari badan air pada saat pengambilan sampel.

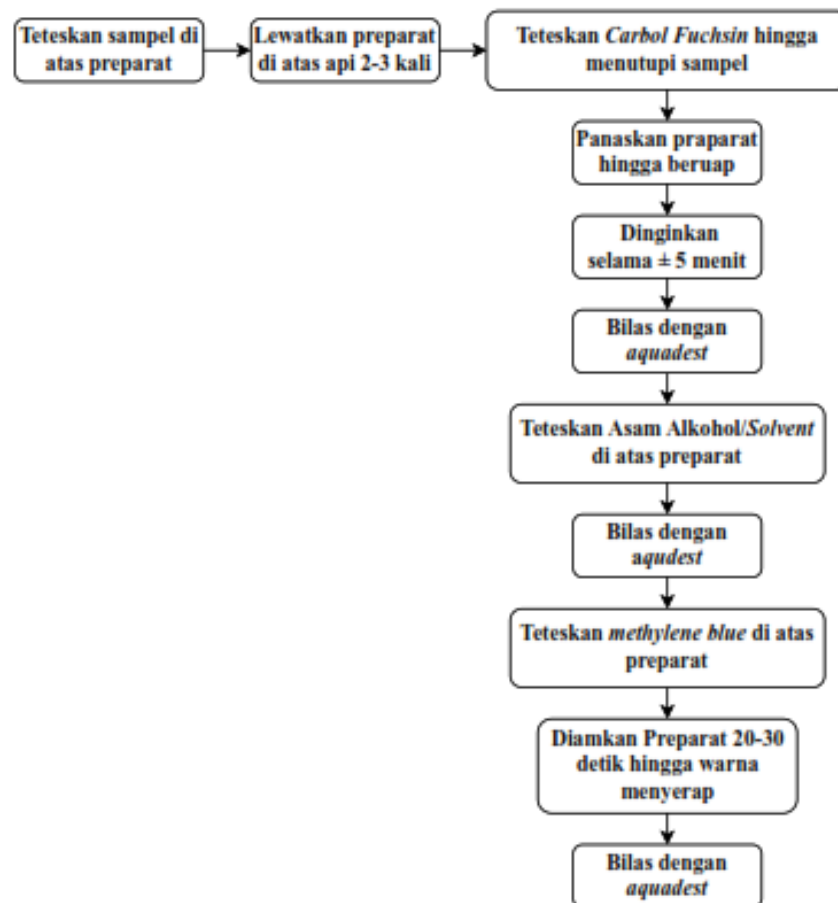
Pengambilan sampel air mengacu pada SNI 7828:2012 tentang Pengambilan Contoh Air Minum dari Instalasi Pengolahan Air dan Sistem Jaringan Distribusi Pipaan dan SNI 9063:2022 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Air dan Air Limbah untuk Parameter Mikrobiologi. Pengambilan sampel dilakukan di PDAM Unit Tridadi dari 3 titik, yaitu sumber air baku, unit disinfeksi, dan unit distribusi dalam waktu 1 hari. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* yang mengacu pada tata cara pengambilan contoh uji pada sumur produksi pada SNI yang berisi langkah pengambilan contoh uji dari keran air sumur produksi ke dalam wadah contoh uji secara steril.

Pengambilan sampel dari keran air sumur produksi dilakukan secara steril ke dalam wadah yang telah disterilkan. Sampel dalam wadah merupakan air telah disaring menggunakan *plankton net* dengan *mesh* sebesar 30 μ m. Proses *sampling* dilakukan dengan teknik penyaringan secara vertikal dan horizontal dengan volume 100L. Kemudian hasil saringan dimasukkan ke dalam botol sampel 15 ml dan diawetkan menggunakan iodine 5 tetes dan formalin 4% 1 ml.

3.3.2 Uji Laboratorium

Pengujian parameter *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dalam sampel air yang sebelumnya telah diambil dan disimpan akan dilakukan yang sebelumnya telah diambil dan disimpan akan dilakukan di laboratorium Bioteknologi FTSP UII dengan metode pewarnaan *Ziehl-Neelsen*. Proses pewarnaan *Ziehl-Neelsen* mengacu pada penelitian terdahulu yaitu *Cryptosporidium* sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus: Hulu

Sungai Citaru, Kabupaten Bandung). Tahapan pengujian dapat di lihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 3 Prosedur Pewarnaan Ziehl-Neelsen
(Sumber: Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Semarang)

Setelah dilakukan pewarnaan kemudian sampel akan diamati dengan mikroskop, indikator adanya *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* pada sampel uji yaitu warna, bentuk, dan ukurannya. Hasil pengamatan *Cryptosporidium* dibawah mikroskop dapat berbentuk bulat atau hampir oval berwarna merah dengan ukuran sekitar 4 – 6 μm , sedangkan *Giardia lamblia* berbentuk menyerupai pir berwarna biru dengan panjang 21 – 15 μm dan lebar 5 – 9 μm . Sehingga kedua protozoa ini

dapat dibedakan dari protozoa lain yang memiliki ciri hampir sama yaitu *Isospora* dan *Cyclospora*.

3.4 Analisis Data

Analisis data hasil uji pewarnaan *Ziehl-Neelsen* dilakukan menggunakan metode deskriptif kualitatif. Sampe uji dianalisis dengan membandingkan kadar *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam sampel dengan standar maksimum kontaminan yang termuat dalam regulasi US *Environmental Protection Agency* (EPA) mengenai air minum primer nasional. Kemudian keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dianalisis berdasarkan perbedaan morfologi dengan protozoa lain, yaitu *Isospora* dan *Cyclospora*. Setelah dilakukan perbandingan morfologi dilanjutkan dengan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keberadaan kedua protozoa tersebut di lingkungan (sumber kontaminasi pada air baku) dan proses pengolahan air minum.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

4.1 Kondisi Eksisting PDAM Unit Tridadi

Unit Tridadi merupakan salah satu pelayanan penyediaan air bersih unit PDAM Sleman yang berlokasi di Jalan Magelang, Dusun Krapyak, Kelurahan Triharjo, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman. Unit Tridadi memiliki dua unit produksi dan pengolahan air yang memiliki jarak cukup berjauhan. Jarak antara kedua Unit yaitu ± 5 Km dengan Unit pengolahan pertama berada di IPA Murangan yang berlokasi di jalan Panggeran 7, Triharjo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman dan IPA Kadisono yang berada di Jalan Kadisono. Penelitian dilakukan di IPA Murangan yang melayani 242 sambungan rumah yang terbagi menjadi 2 zona yaitu zona pelayanan 1 (Dukuh) 53 SR, zona pelayanan 2 (Sleman Permai 1, Pangukan) 110 SR, dan zona pelayanan 3 (Dusun Warak) 79 sr.



Gambar 4. 1 (a) Sumber Air Baku Utama (deep well) dengan Kedalaman Galian sekitar 40 meter, (b) Sumber Air Baku (Sumur Bor) 2 dengan Kedalaman Galian sekitar 20 meter



Gambar 4. 2 (a) Sumber Air Baku (shallow well) Cadangan dengan Kedalaman Galian sekitar 8 meter, (b) Wilayah Pengolahan dan Produksi Air yang Dominan dengan Pemukiman dan Lahan Pertanian

Proses produksi di Instalasi Pengolahan Air Murangan melewati beberapa tahap pengolahan yang terdiri dari aerasi, sedimentasi, filtrasi, koagulasi, distribusi. Instalasi pengolahan dan produksi Murangan ini mempunyai 2 sumber air baku yang berasal dari sumur dalam (deep well) sumur dangkal (shallow well), dan sumur bor dengan kedalaman masing-masing yaitu, 40 meter, 8 meter, dan 20 meter. Kapasitas aliran debit yang dihasilkan oleh ketiga sumber air baku IPA Murangan adalah 2,8 – 3 m/s. Pada musim kemarau penurunan debit terjadi akibat dari kekeringan pada salah satu sumber air baku yaitu sumur dangkal (*shallow well*) yang disebabkan oleh suhu tinggi, lokasi sumur yang berdekatan dengan ladang pertanian, dan kurangnya cadangan air tanah. Kekeringan akibat musim kemarau menyebabkan debit turun menjadi 2,5 – 2,6 m/s, namun cadangan air tersebut olahan masih dapat memenuhi kebutuhan air konsumen. Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap kualitas air produksi IPA Murangan pada seluruh unit pengolahan yang terdiri atas 3 sumber air baku (*deep well*, sumur bor, dan *shallow well*), unit aerasi, unit sedimentasi, unit filtrasi, reservoir, hingga pelanggan (konsumen).

Tabel 4. 1 Kualitas Air PDAM Unit Tridadi

No	Unit Pengolahan	Standar Baku Mutu							
		Parameter Fisik						Parameter Mikrobiologi	
		pH	Suhu (C)	Fe	TDS	Keke-ruhan	Sisa Chlo-r	<i>Escheri-cia coli</i>	Total <i>Coliform</i>
		6,5 - 8,5	Suhu Udara ± 3	0,2 (mg/L)	< 300 (mg/L)	< 3 (NTU)	0,2 - 1,2 (mg/L)	0 CFU/100 ml	0 CFU/100 ml
1	Sumber Air Baku I (DW)	6,7	27,4	2,11	290	6,72	-	-	-
2	Sumber Air Baku II (SB)	6,7	27,2	2,07	224	5,63	-		
3	Sumber Air Baku (SW)	6,9	27,4	0	197	0,58	-		
4	Outlet Filtrasi	6,9	27,3	0,1	206	1,21	-		
5	Outlet Reservoir	6,9	27,3	0,07	201	1,28	1,24		
6	Pelanggan Terdekat	6,9	27,3	0,09	120	1,01	0		
7	Pelanggan Tengah	6,9	27,5	0,1	206	1,25	1,19		
8	Pelanggan Terjauh	7	27,4	0,15	206	1,19	0		

(Sumber: Hasil Uji Kualitas Air PDAM Unit Tridadi Bulan September)

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa PDAM Unit Tridadi melakukan uji baku mutu untuk parameter fisika, Kimia dan mikrobiologi tiap bulan. Hasil uji menunjukkan bahwa air hasil pengolahan yang diterima oleh pelanggan (konsumen) telah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan. Salah satu parameter kualitas air minum adalah parameter mikrobiologi yang terdiri dari bakteri *escherichia coli* dan total bakteri *coliform* yang merupakan bakteri pathogen yang berasal dari limbah manusia atau hewan yang mengkontaminasi air permukaan dan air tanah sehingga dapat menyebabkan penyakit. Salah satu indikator air minum produksi PDAM Unit

Tridadi dikatakan aman adalah apabila tidak ditemukannya bakteri *E.coli* dan total coliform dalam air produksi yang digunakan oleh pelanggan (konsumen) sesuai dengan Peraturan Menkes No. 2 Tahun 2023 senilai 0 CFU/100 mL. Proses disinfeksi Unit Tridadi terjadi di reservoir, dengan menginjeksi disinfektan berupa $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ sebanyak 3 Kg/12 jam. Proses injeksi dilakukan 2 kali dalam sehari sehingga total penggunaan $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ adalah 6 Kg/hari.

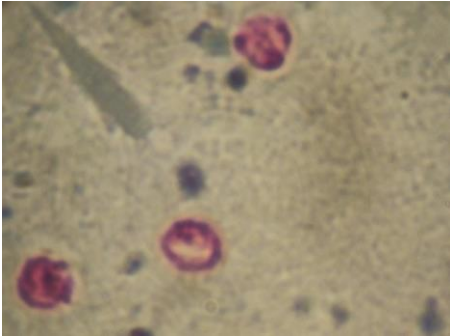
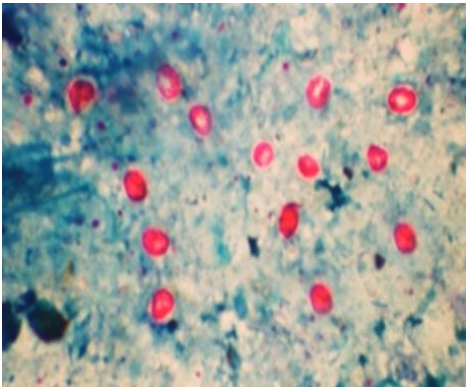
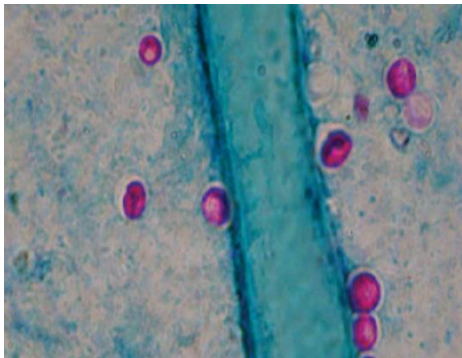
4.2 Hasil Pengamatan Sampel Uji

Pengamatan mikroskop dilakukan pada 4 sampel yang terdiri dari Sumber Air Baku I (Sumur Bor), Sumber Air Baku II (*deep well*), Penyimpanan (Reservoir), dan Distribusi. Pengamatan sampel dilakukan di bawah mikroskop dengan perbesaran lensa objektif 10x dan pencahayaan putih. Setiap sampel uji dilakukan 5x pengulangan untuk memastikan keberadaan oosit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam sampel. Keberadaan kedua protozoa ini dapat dilihat setelah dilakukan pewarnaan *Ziehl-Neelsen* pada tiap sampel uji dengan adanya oosit *Cryptosporidium* berwarna merah dengan ukuran yang bervariasi yaitu sekitar 4 – 6 µm berbentuk hampir oval dan trofozoit/kista *Giardia lamblia* yang berwarna biru dan berbentuk seperti buah pir dengan 4 flagella.

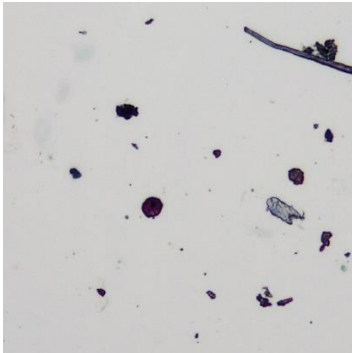
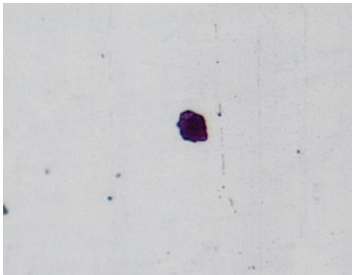
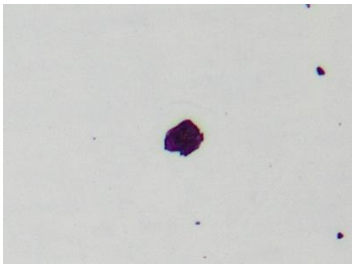
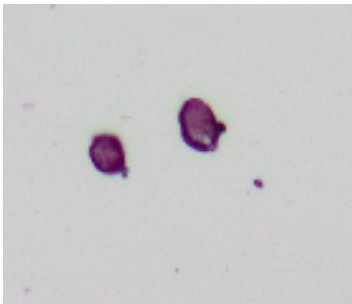
4.2.1 Analisis *Cryptosporidium* pada Sampel Air PDAM Unit Tridadi

Metode Pewarnaan *Ziehl-Neelsen* dilakukan pada tiap sampel untuk dapat melihat dan membedakan oosit *Cryptosporidium*. Metode ini membantu pengamatan mikroskop menjadi lebih mudah karena dapat menunjukkan perbedaan dari oosit *Cryptosporidium* dengan protozoa lain yang mempunyai ciri yang hampir sama.

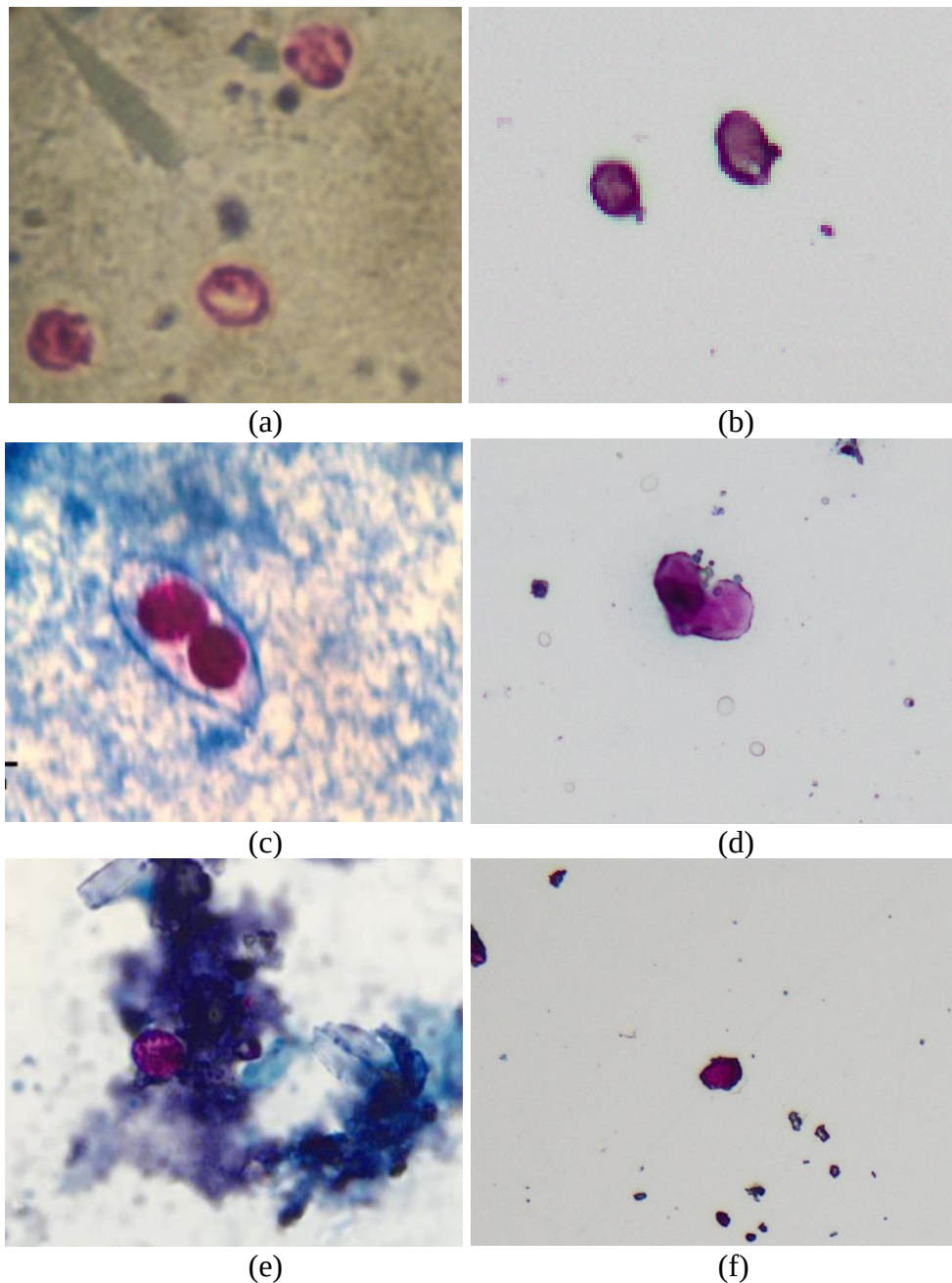
Tabel 4. 2 Perbandingan *Cryptosporidium* dengan Referensi

No	Unit Pengolahan	Gambar Oosit <i>Cryptosporidium</i>	Keterangan
Referensi			
1			Oosit <i>Cryptosporidium sp</i> pada sampel feses manusia menggunakan pewarnaan Ziehl-Neelsen (Sumber: (Sonia, 2011))
2			Oosit <i>Cryptosporidium parvum</i> (bulat) dan Oosit <i>Cryptosporidium andersoni</i> (oval) berwarna pink pada feses sapi menggunakan pewarnaan Ziehl-Neelsen (Sumber: (Rekhal, et al., 2016))
3			Oosit <i>Cryptosporidium spp</i> pada sampel feses anak kerbau dengan menggunakan pewarnaan Ziehl-Neelsen (Sumber: (Bahrami, et al., 2014))

Hasil Pengamatan Sampel

1	Sumber Air Baku I (sumur bor)		Oosit <i>Cryptosporidium</i> dalam Sampel Uji Sumber Air Baku I (sumur bor) pada Ulangan 1
2	Sumber Air Baku II (deep well)		Oosit <i>Cryptosporidium</i> dalam Sampel Uji Sumber Air Baku II (sumur bor) pada Ulangan 2
3	Unit Penyimpanan (reservoir)		Oosit <i>Cryptosporidium</i> dalam Sampel Uji Unit Penyimpanan pada Ulangan 3
4	Unit Distribusi		Oosit <i>Cryptosporidium</i> dalam Sampel Uji Unit Distribusi pada Ulangan 5

Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa oosit *Cryptosporidium* ada dalam tiap sampel uji yang terdiri dari Sumber Air Baku I (sumur bor), Sumber Air Baku (*deep well*), Unit Penyimpanan (reservoir), dan Unit Distribusi. Oosit *Cryptosporidium* terlihat mempunyai dinding tebal berwarna merah yang berbentuk bulat atau hampir bulat dengan ukuran 4 – 6 μm .



Gambar 4. 3 (a) Oosit *Cryptosporidium* pada feses dengan pewarnaan Ziehl-Neelsen; (b) Oosit *Cryptosporidium* dalam Sampel Uji Unit Distribusi; (c) Kista *Isospora belli* dalam Sampel Feses Pasien AIDS; (d) Kista *Isospora belli* dalam Sampel Uji Unit Distribusi; (e) Oosit *Cyclospora cayetanensis* pada sampel air sumur gali; (f) Oosit *Cyclospora cayetanensis* pada sampel Uji Unit Sumber Air Baku II (*deep well*)

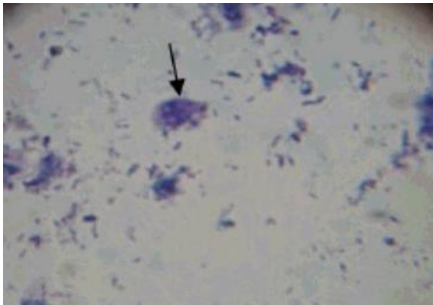
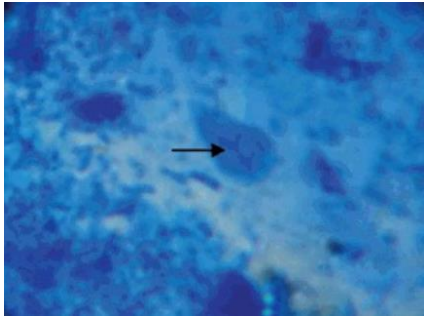
Spesies kista *Isospora belli* dan spesies oosit *Cylospora cayetanensis* umumnya sering menginfeksi manusia melalui makanan atau air konsumsi yang terkontaminasi, sehingga mudah ditemukan pada sampel uji yang telah dilakukan

pewarnaan *Ziehl-Neelsen* karena memiliki ciri yang hampir sama dengan oosit *Cryptosporidium*. Kista *Isospora belli* mempunyai dinding sel tranparan dan tipis yang mengelilingi dua sporokista yang masing-masing mengandung 4 sporozoite, berbentuk lonjong atau oval dengan ukuran 25 – 30 μm , sedangkan spesies *Cyclospora cayetanensis* berbentuk bulat yang berukuran 8 – 10 μm dengan dinding berwarna merah atau merah muda yang melindungi dua sporosit/sporokista yang masing-masing mengandung 4 sporozoite.

4.2.2 Analisis *Giardia lamblia* pada Sampel Air PDAM Unit Tridadi

Metode Pewarnaan *Ziehl-Neelsen* dilakukan pada tiap sampel untuk dapat melihat dan membedakan antara trofozoit dengan kista *Giardia lamblia*. Metode ini membantu pengamatan mikroskop menjadi lebih mudah karena dapat menunjukkan perbedaan dari trofozoit *G. lamblia* dengan kista *G. lamblia*.

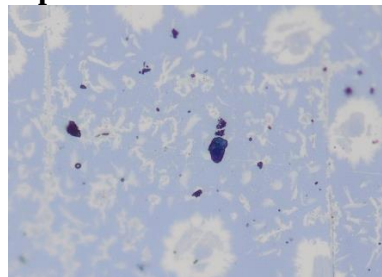
Tabel 4. 3 Perbandingan *Giardia lamblia* dengan Referensi

No	Unit Pengolahan	Gambar Oosit <i>Cryptosporidium</i>	Keterangan
1	Referensi	 (a)  (b)	(a) Trofozoit <i>G. lamblia</i> pada sampel pasien terinfeksi (b) Kista <i>G. lamblia</i> pada sampel pasien terinfeksi Oosit <i>Cryptosporidium</i> sp pada sampel feses manusia menggunakan pewarnaan <i>Ziehl-Neelsen</i>

(Sumber:
(Rajurkar, et al.,
2012)

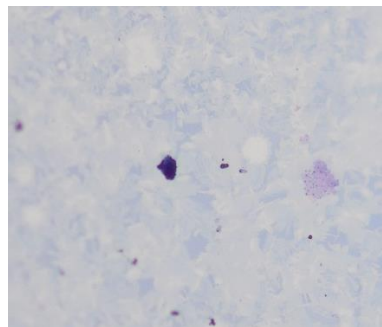
Hasil Pengamatan Sampel

- 1 Sumber Air
Baku I
(sumur bor)



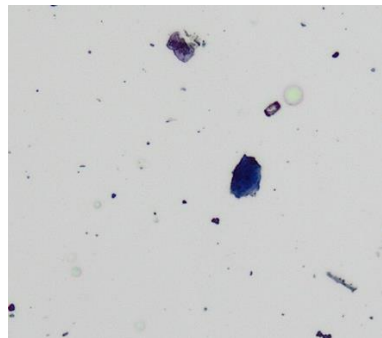
Kista *Giardia lamblia* dalam Sampel Uji Sumber Air Baku I (sumur bor) pada Ulangan 4

- 2 Sumber Air
Baku II
(deep well)



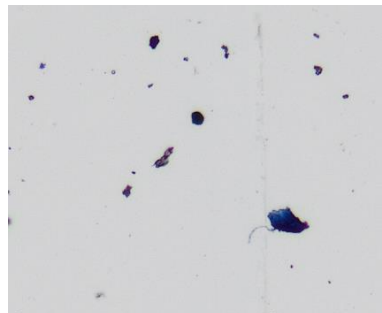
Kista *Giardia lamblia* dalam Sampel Uji Sumber Air Baku II (sumur bor) pada Ulangan 1

- 3 Unit
Penyimpanan
(reservoir)



Kista *Giardia lamblia* dalam Sampel Uji Unit Penyimpanan pada Ulangan

- 4 Unit
Distribusi



Trofozoit *Giardia lamblia* dalam Sampel Uji Unit Distribusi pada Ulangan 4

Pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa kista *Giardia lamblia* ada pada sampel Sumber Air Baku I (sumur bor), Sumber Air Baku (*deep well*), dan Unit sedangkan trofozoit *Giardia lamblia* ada dalam sampel Unit Penyimpanan (reservoir). Perbedaan trofozoit dengan kista dari *Giardia lamblia* terdapat pada ukuran dan bentuknya.

- a) Trofozoit *Giardia lamblia*: berbentuk seperti buah pir yang berisi dua inti (nucleus) simetris dengan panjang sekitar 10 – 12 μm dan lebar 5 – 15 μm dan memiliki empat pasang flagella.
- b) Kista *Giardia lamblia*: berbentuk oval yang berisi empat inti (nucleus) dan sisa-sisa organel dengan panjang 8 – 12 μm dan lebar 5 -10 μm .

4.2.3 Analisis *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* di Lingkungan

Cryptosporidium dan *Giardia lamblia* merupakan protozoa yang dapat menginfeksi manusia dan menyebabkan penyakit Cryptosporidiosis dan Giardiasis. Oosit *Cryptosporidium* dan Kista *Giardia lamblia* dapat bertahan hidup di luar tubuh inang cukup lama dan tidak mudah tereliminasi oleh pengolahan air sederhana dengan kadar klorin standar. Kedua protozoa ini umumnya sering ditemukan di lingkungan yang padat dengan penduduk dengan sanitasi buruk, peternakan, pertanian, dan kawasan industri yang disebabkan oleh pembuangan limbah dan limpasan, pengendapan feses, dan cuaca sehingga dapat mencemari sumber air melalui beberapa kontaminasi utama. Salah satu kontaminasi oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* yang ada dapat ditemukan dalam sumber air baku adalah perubahan kualitas air tanah yang disebabkan oleh pencemaran tanah melalui sanitasi masyarakat sekitar ataupun kelompok masyarakat yang buruk.

Karakteristik air tanah berperan penting terhadap kualitas dari sumber air baku yang digunakan untuk menghasilkan air bersih yang aman bagi pelanggan (konsumen). Karakteristik yang mempengaruhi kualitas sumber air baku untuk diolah unit pengolahan antara lain kedalaman air tanah, kekeruhan, pH, dan suhu. Air tanah dengan galian dangkal yang digunakan sebagai sumber air baku akan

lebih rentan terhadap pencemaran dari permukaan, sehingga sumber air yang lebih dalam mungkin lebih terlindungi tetapi tidak sepenuhnya aman. Adanya *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* di dalam sumber air baku yang digunakan di IPA Murangan dapat disebabkan oleh kontaminasi feses. Sumber kontaminasi tersebut disebabkan oleh pengendapan feses hewan ternak yang dimiliki oleh kelompok ternak, hewan peliharaan (kucing) masyarakat sekitar Instalasi Pengolahan Air Murangan, dan hewan liar seperti tikus.

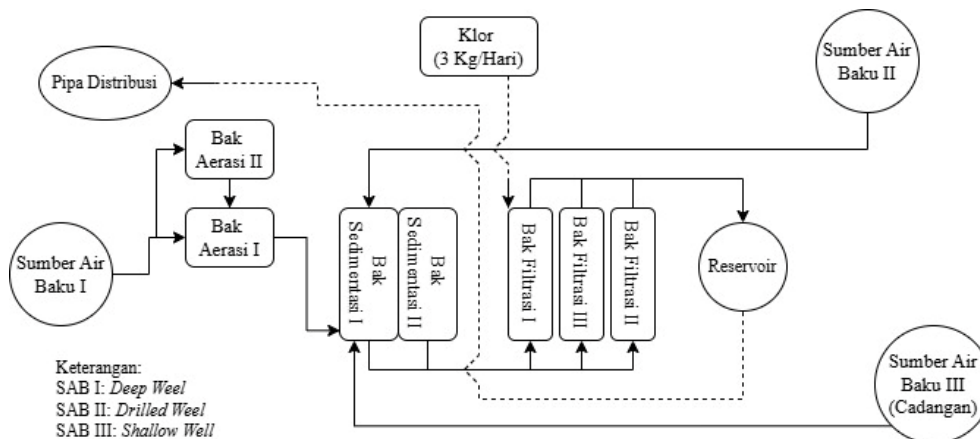
Penyebaran limbah peternakan melalui tanah disebabkan oleh faktor lingkungan dan sifat fisik dari tanah. Limbah peternakan dapat masuk ke lingkungan melalui kebocoran pada sistem drainase atau pembuangan limbah ke lahan secara tidak langsung. Limbah ternak yang mengandung protozoa parasite seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Infiltrasi kedua protozoa parasite tersebut ke dalam air tanah dipengaruhi oleh pergerakan masuknya air ke dalam tanah dengan gaya gravitasi. Gerakan tersebut dipengaruhi oleh jenis dan tekstur tanah, aliran air dalam tanah, dan limpasan permukaan. Hal ini ditunjukkan dari data kualitas sumber air baku di IPA Murangan berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Uji Kualitas Sumber Air Baku PDAM Unit Tridadi Bulan September 2024

Sumber Air Baku	Parameter			
	pH	Suhu (C)	TDS	Kekeruhan
	6,5-8,5	Suhu Udara ±3	< 300 (mg/L)	< 3 (NTU)
Sumber Air Baku (sumur bor)	6,7	27,2	224	5,63
Sumber Air Baku (<i>deep well</i>)	6,7	27,4	290	6,72

4.2.4 Analisis *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dalam Unit Pengolahan

Instalasi Pengolahan Air Murangan merupakan proses pengolahan sederhana yang terdiri dari, sumber air baku (*deep well*, sumur bor, dan *shallow well*), unit aerasi, unit sedimentasi, unit filtrasi, dan reservoir. Air yang diproses dalam filtrasi akan ditambahkan $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ sebanyak 3 Kg/12 jam untuk menghilangkan mikroorganisme patogen dalam air. Kemudian air akan di distribusikan ke pelanggan melalui pipa PVC. Berikut proses pengolahan air di IPA Murangan:



Gambar 4. 4 Proses Pengolahan Air di Murangan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan menggunakan mikroskop *Cryptosporidioum* dan *Giardia lamblia* ditemukan di tiap sampel air pada unit sumber air baku I (*deep well*), sumber air baku II (sumur bor), reservoir, dan pipa distribusi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh struktur kista dan kemampuan bertahan hidup kedua protozoa sehingga mampu membantu hidup di lingkungan luar inang lebih lama.

a) Unit Aerasi

Proses aerasi merupakan penambahan oksigen ke dalam air menggunakan aerator. Fungsi proses aerasi dalam pengolahan air adalah melarutkan oksigen atau menambahkan oksigen dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (Wiyono, et al., 2017). Pada IPA Murangan digunakan untuk menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang larut dalam air,

menghilangkan bau, menjernihkan air, dan menghilangkan rasa pahit. Proses aerasi tidak dapat menghilangkan oosit *Cyptosporidium* dan kista/trofozoit *Giardia lamblia* disebabkan oleh kemampuan bertahan hidup yang dapat menyesuaikan kondisi lingkungan dan bersifat anaerobic fakultatif (bertahan hidup pada kondisi oksigen yang minim)

b) Unit Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pengolahan air secara fisik yang digunakan untuk mengendapkan padatan koloid dan tersuspensi dalam air dengan pengaruh gravitasi. Proses sedimentasi dapat menghilangkan/menurunkan kekeruhan yang disebabkan oleh padatan tersuspensi halus (TSS), pengotor koloid, dan warna organik dari air baku (Tulus, et al., 2018). Proses sedimentasi IPA Murangan belum mampu menghilangkan oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* yang disebabkan kurang optimalnya tipe sedimentasi yang digunakan di IPA Murangan sehingga kedua protozoa tersebut dapat lolos ke pengolahan selanjutnya.

c) Unit Filtrasi

Filtrasi merupakan proses penyaringan air olahan untuk menghilangkan zat padat tersuspensi dalam air melalui media pori. Unit filtrasi IPA Murangan menggunakan tipe *rapid sand filter* yang membutuhkan waktu penyaringan relatif cepat dari *slow sand filter*. Kekurangan dari tipe ini adalah kurang sensitif terhadap perubahan pada kualitas air baku. dan tidak dapat mengurangi jumlah bakteri selama proses penyaringan (Pratama, et al., 2017); (Maryani, et al., 2014) . Keberadaan oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* dalam unit filtrasi dapat disebabkan kurang maksimalnya penyaringan tipe *rapid sand filter* terhadap mikroorganisme. Hal tersebut dipengaruhi oleh kecepatan alir debit filter dan ukuran pori media.

d) Reservoir

Reservoir merupakan unit penyimpanan/penampungan air bersih. Reservoir di IPA Murangan berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara air hasil olahan dan tempat menghilangkan bakteri dengan penambahan disinfektan (klor). Oosit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* masih belum dapat dihilangkan pada proses klorinasi disebabkan oleh resistensi kedua protozoa terhadap klor dengan konsentrasi standar dan kemampuan hidup pada pH netral dan bersifat alkali

e) Pipa Distribusi

Pipa Distribusi merupakan pipa yang mendistribusikan air hasil olahan IPA Murangan dari tank reservoir ke pelanggan (konsumen). Air hasil olahan yang diambil dari pelanggan terdekat masih mengandung oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh nilai pH netral dan suhu yang relative rendah pada air distribusi sehingga oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* masih dapat bertahan hidup dalam pipa.

Pengolahan Air Minum Murangan belum mampu menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* yang disebabkan belum optimalnya sistem pengolahannya, sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan kualitas air dan kualitas sistem pengolahannya dengan dilakukan pemeliharaan dan pemantauan terhadap system pengolahan dan adopsi teknologi yang lebih efektif untuk menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Berikut opsi teknologinya:

1) Filtrasi

Unit filtrasi yang digunakan dalam pengolahan ini adalah *rapid sand filter*. Filtrasi tipe ini tidak mampu mengurangi jumlah oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* selama proses penyaringan. Tipe filtrasi lebih efektif untuk mengurangi jumlah mikroorganisme dalam air adalah *slow sand filter* dan filtrasi media membrane. Kedua filtrasi ini mampu mengurangi dan menghilangkan oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* dalam proses

penyaringan yang disebabkan oleh jenis dan ukuran media pori yang lebih kecil dibanding *rapid sand filter*. Filtrasi dengan media granular perlu melakukan *backwash* lebih sering dibanding media membrane untuk mempertahankan *filtration rate* dan efektivitas removalnya. Filtrasi dengan media membran (mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis) lebih efektif untuk menghilangkan kista protozoa, namun perlu adanya pemantauan dan pemeliharaan terhadap media membrane agar tidak menimbulkan kerusakan fisik pada membran, Waktu dan usia membrane, serta *fouling* yang dapat menurunkan permeabilitas membrane.

2) Disinfeksi

IPA Murangan menggunakan klorin sebagai disinfektan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen. Apabila penggunaan kadar klorin dinaikkan untuk menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*, maka dikhawatirkan dapat menghasilkan produk sampingan dari klorinasi. Berdasarkan US EPA, disinfektan yang efektif untuk inaktivasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* adalah ozon, UV, dan klorin dioksida. Sistem disinfeksi kombinasi dapat diterapkan dalam pengolahan air, seperti system ozon diikuti oleh klorin atau UV-ozon (*Advanced Oxidation Processes*). Penggunaan system disinfeksi kombinasi dalam pengolahan air dapat memberikan perlindungan dan efektivitas untuk menginaktivasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam air olahannya.

4.2.5 Analisis Standar Kualitas Air Minum terkait Parameter Mikrobiologi

Penyediaan jasa pelayanan air bersih kepada masyarakat dilakukan Perusahaan Daerah Air minum (PDAM) tiap daerah. Sistem distribusi yang digunakan adalah system perpipaan yang membutuhkan pengecekan terhadap kuantitas, kualitas, dan kontinuitas khususnya kualitas kadar mikroba patogen air.

Standar yang menjadi acuan bagi penyelenggara air minum di Indonesia adalah Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 tentang Kualitas Lingkungan yang mengatur baku mutu air minum. Standar ini merupakan salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan kualitas air minum dengan melakukan pengamanan dan pengendalian agar dapat bermanfaat bagi Kesehatan masyarakat. Standar kualitas air minum yang ditetapkan oleh permenkes wajib diuji secara berkala oleh penyelenggara air minum baik parameter wajib yang ditetapkan oleh pemerintah ataupun parameter khusus yang ditambah oleh pemerintah daerah.

Parameter Khusus merupakan parameter tambahan yang dapat ditetapkan oleh pemerintah atau pemerintah daerah. Parameter ini dapat mengacu pada kebutuhan dan karakteristik air baku tiap penyelenggara. Parameter tambahan khusus parameter mikrobiologi yang ada dalam Permenkes No. 2 tahun 2023 hanya memuat standar baku mutu untuk bakteri *Escherichia coli* dan *Total Coliform*. Penularan mikroorganisme patogen di Indonesia tidak hanya disebabkan oleh bakteri, dapat dilihat dari kasus penyakit menular dari hewan ke manusia melalui konsumsi air minum yang disebabkan oleh protozoa parasite seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Kedua protozoa tersebut merupakan organisme patogen yang menyebabkan infeksi pada usus halus dan mengakibatkan diare akut pada manusia dan hewan. Kasus penyakit gastrointestinal yang disebabkan oleh *Cryptosporidium* terjadi sekitar 4-11% pada anak-anak di Indonesia (Wijayanti, 2017), sedangkan kasus yang disebabkan oleh *Giardia lamblia* terjadi sekitar 20-30% di negara berkembang (Harun, et al., 2019).

Standar kualitas air minum yang ditetapkan oleh US EPA, *European Union*, dan Kementerian Kesehatan Malaysia menyatakan bahwa protozoa parasite yang menyebabkan penyakit gastrointestinal tidak boleh ada dalam air minum hasil olahan. Selain itu, pengecekan dan pengujian berkala terhadap protozoa parasite dilakukan untuk menjaga kualitas air minum yang didistribusikan kepada masyarakat. Protozoa parasite penyebab penyakit gastrointestinal dapat dengan mudah mencemari sumber air baku karena kemampuan bertahan hidup di lingkungan ekstrim. Protozoa parasite seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* merupakan jenis protozoa yang memiliki dinding sel kuat dan resisten

terhadap klorin dengan kadar standar pada pengolahan air minum sederhana, sehingga diperlukan pengujian terhadap metode yang dapat menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*.

Pengolahan Air Minum Murangan menggunakan klorin sebagai disinfektan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen. Apabila penggunaan kadar klorin dinaikkan untuk menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*, maka dikhawatirkan dapat menghasilkan produk sampingan dari klorinasi. Berdasarkan US EPA, disinfektan yang efektif untuk inaktivasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* adalah ozon, UV, dan klorin dioksida. Sistem disinfeksi kombinasi dapat diterapkan dalam pengolahan air, seperti system ozon diikuti oleh klorin atau UV-ozon (Advanced Oxidation Processes). Penggunaan system disinfeksi kombinasi dalam pengolahan air dapat memberikan perlindungan dan efektivitas untuk menginaktivasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam air olahannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Murangan dapat ditarik Kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Kista dan/atau trofozoit *Giardia lamblia* dan Oosit *Cryptosporidium* ada dalam air hasil olahan IPA Murangan. Kedua protozoa ini ada dalam tiap sampel uji yang keberadaannya dapat disebabkan oleh faktor lingkungan dan faktor pengolahan air.
- 2) Pengolahan air di PDAM Unit Tridadi belum mampu menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dari air produksinya. Kadar klorin yang digunakan belum mampu membunuh bakteri pathogen dalam air olahan yang disebabkan oleh sifat resisten kedua protozoa terhadap klorin dengan kadar standar dan kemampuan bertahan hidup diluar inang yang cukup lama dalam suhu rendah dan lembab.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk Penelitian “Identifikasi Protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* dengan Metode Ziehl-Neelsen pada PDAM Unit Tridadi” adalah:

- 1) Perlu adanya perhitungan kadar atau jumlah oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* dalam sampel air agar dapat diketahui kualitas air olahan Instalasi Pengolahan Murangan.
- 2) Perlu penelitian mengenai efektivitas kadar klorin untuk menghilangkan protozoa pathogen dalam air konsumsi agar dapat mengetahui lebih jauh mengenai kemampuan unit disinfeksi dan pengaruh karakteristik air tanah sebagai air baku.

- 3) Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi spesies dan morfologi *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium* secara mendalam agar data lebih akurat
- 4) Pengambilan sampel dengan metode grab sampling yang dilakukan dalam sehari sebaiknya disampling minimal sebanyak 3x di waktu pengambilan yang berbeda dan disesuaikan dengan musim saat sampling.
- 5) Perlu adanya penambahan skala/ukuran (dalam μm) dalam gambar hasil pengamatan mikroskop untuk dapat membedakan ukuran tiap oosit *Cryptosporidium* dan kista *Giardia lamblia* dengan mikroorganisme lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, K. & Rahmawati, E., 2022. Pemeriksaan Mikroskopis BTA Menggunakan Metode Pewarnaan Ziehl-Neelsen di RSUD Abdul Wahab Sjahranie Samarinda. *Jurnal Teknologi Laboratorium Medik Borneo*, 2(1), pp. 54-61.
- Apsari, P. I. B., 2020. Patogenesis Infeksi *Cryptosporidium*. *WICAKSANA: Jurnal Teknik Lingkungan dan Pembangunan*, 4(1), pp. 6-14.
- Atikah , U., Prnaini, R. & Asbanu Govira , C., 2023. Analisis Kualitas Air Baku dan Kualitas Air Hasil Produksi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Unit Mukok PDAM Tirta Pancur Aji Kota Sanggau. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), pp. 297-303.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2022. *Pengambilan Contoh Air Minum dari Instalasi Pengolahan Air dan Sistem Jaringan Distribusi Pipaan*. Jakarta, Patent No. SNI 9063:2022.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Pengambilan Contoh Air Minum dari Instalasi Pengolahan Air dan Sistem Jaringan Distribusi Pipaan*. Jakarta, Patent No. SNI 7828:2012.
- Bahrami, S. et al., 2014. Prevelence of *Cryptosporidium* spp. Infecyion and its Association with Diarrhea in Buffalo Calves in Khuzesten'a South Western Province of Iran. *Buffalo Bulletin*, 33(4), pp. 293-299.
- Biderouni, F. & Saluhi, N., 2014. Detection of *Cryptosporidium* Infection by Modified Ziehl-Neelsen and PCR Methods in Children with Diarrheal Samples in Pediatric Hospitals in Tehran. *RIGLD*, 7(2), pp. 125-130.
- Djana, M., 2023. Analisis Kualitas Air dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Natar Hajime Lampung Selatan. *Jurnal Redoks*, 8(1), pp. 81-87.
- El-Kowrany, S. I., El-Zamarany, E. A., El-Niuby, K. A. & El-Mehy, D. A., 2016. Water Pollution in The Midle Nile Delta, Egypt: An Environmental Study. *Journal of Advanced Research*, Volume 7, pp. 781-794.
- Febriani, A. et al., 2022. Gambatan Hasil Pemeriksaan Mikroskopik Basil Tahan Asam Pada Penderita Tuberkulosis Paru di BBKPM Makassar. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 2(1), pp. 21-26.
- Fink, M. Y., Shapiro, D. & Singer, S. M., 2020. *Giardia Lamblia: Laboratory Maintenance, Lifecycle Induction, and Infection or Murine Models*. *US Department of Health and Human Services*, 57(1), pp. 1-30.

- Gerace, E., Di Marco Lo Presti, V. & Biondo, C., 2019. Cryptosporidium Infection: Epidemiology, Pathogenesis, and Differential Diagnosis. *European Journal of Microbiology & Immunology*, 9(4), pp. 119-123.
- Gerace, E., Di Marco Lo Presti, V. & Biondo, C., 2019. Cryptosporidium Infection: Epidemiology, Pathogenesis, and Differential Diagnosis. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 9(4), pp. 119-123.
- Harun, H., Sennang, N. & Rusli, B., 2019. Giardiasis. *Jurnal Kesehatan Tadulako*, 5(3), pp. 4-12.
- Mahardianti, M., Kurniawan, A. & Sari, I. P., 2020. Potential Transmission of Cryptosporidium sp. in Ciliwung River Water, Jakarta. *eJKI*, 8(2), pp. 131-136.
- Maryani, D., Masduqi, A. & Meosriati, A., 2014. Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2), pp. 76-81.
- Maryanti, E., 2017. Epidemiologi Kriptosporidiosis. *Jurnal Ilmu Kedokteran*, 5(1), pp. 1-6.
- Mohseni, A. M., 2016. *Surrogates for Validation of Pathogen Removal Using Membranes in Water Treatment*, Melbourne, Australia: School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University.
- Nufutomo, T. K. & Muntalif, B. S., 2017. Cryptosporidium sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus : Hulu Sungai Citaru, Kabupaten Bandung). *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 14(2), pp. 45-53.
- Nurdian, Y. et al., 2024. Preliminary Investigation of Association between Sanitation and Water Contamination by Cryptosporidium at Livestock Area in Jember. *Nursing and Health Science Journal*, 4(3), pp. 284-292.
- Peraturan Peundang-Undangan, 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*, Jakarta.
- Pratama, H., Handayani, Y. L. & Sujatmoko, B., 2017. Efektivitas Backwashing untuk Menjaga Kinerja Rapid Sand Filter di Daerah Gambut. *Jom FTEKNIK*, 4(1), pp. 1-8.
- Rajurkar, M. N., Lall, N., Basak, S. & Mallick, S. K., 2012. A Simple Method for Demonstrating the Giardia Lamblia Trophozoite. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 6(9), pp. 1492-1494.

- Rekhal, Puttalakshmamma & Placid, 2016. Comparison of Different Diagnostic Techniques for The Detection of Cryptosporidiosis in Bovines. *Veterinary World*, 9(2), pp. 211-215.
- Resnahlaksana, E., Wiadnya, I. B. R., Danuyanti, I. G. A. N. & Getas, I. W., 2021. Genotipe Molekular Giardia lamblia pada Penduduk Asimtomatik di Lombok Barat, Indonesia. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*, 8(4), pp. 432-441.
- Riyanti, R., Putri, D. H., Erlinda & Yuniarti, E., 2021. *Deteksi Bakteri E.Coli dan Coliform dengan Metode CFU pada Uji Kualitas Air Bersih*. Kota Padang, Universitas Negeri Padang.
- Rostami, M. N. et al., 2014. Isospora belli Associated Recurrent Diarrhea in a Child with AIDS. *Journal Parasit Dis*, 38(4), pp. 444-446.
- Rumsey, P. & Waseem, M., 2023. *Giardia Lamblia Enteritis*, St. Petersburg: StarPearls.
- Said, N. I., 2007. Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *JAI*, 3(1), pp. 15-28.
- Samarang, Widjaja, J., Syahnuddin, M. & Primasari, 2022. Fasciolosis dan Cryptosporidium pada Ternak Sapi di Desa Maranatha, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. *Jurnal Vektor Penyakit*, 16(2), pp. 145-152.
- Shalaby, N. M. & Wakid, M. H., 2013. Giardiasis in Man: Review and Updates. *JKAU: Med. Sci*, 21(1), pp. 87-100.
- Sonia, A., 2011. From Epidemiology to Treatment. *Faculty of Medicine, Tunis, Tunisia*, pp. 289-306.
- Stasiun Klimatologi Yogyakarta, 2024. *Badan Pusat Statistik Provinsi di Yogyakarta*. [Online] Available at: <https://yogyakarta.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTUyIzI=/curah-hujan-per-bulan.html> [Accessed 23 Oktober 2024].
- Tulus, et al., 2018. *Sedimentation Process in Water*. Montreal, Electrochemical Society, pp. 1-5.
- United States Environmental Protection Agency, 2024. *US EPA*. [Online] Available at: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> [Accessed November 22 2024].
- United States Environmental Protection Agency, 2000. *Giardia: Drinking Water Fact Sheet*, Washington DC: US EPA.

- United States Environmental Protection Agency, 2001. *Cryptosporidium: Drinking Water Health Advisory*, Washington DC: US EPA.
- United States Environmental Protection Agency, 1999. *Giardia: Drinking Water Health Advisory*, Washington DC: US EPA.
- Wijayanti, T., 2017. Kriptosporidiosis di Indonesia. *BALABA*, 13(1), pp. 73-82.
- Wiyono, N., Faturrahman, A. & Syauqiah, I., 2017. Sistem Pengolahan Air Minum Sederhana (Portable Water Treatment). *Konversi*, 6(1), pp. 27-35.
- World Health Organization, 2023. *World Health Organization (WHO)*. [Online] Available at: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/water-safety-planning> [Accessed 2 November 2024].
- Zulhilmi, Efendy, I., Syamsul Darwin & Idawati, 2019. Faktor yang Berhubungan Tingkat Konsumsi Air Bersih pada Rumah Tangga di Kecamatan Peudada Kabupaten Bireun. *Jurnal Bioly Education*, 7(2), pp. 110-126.

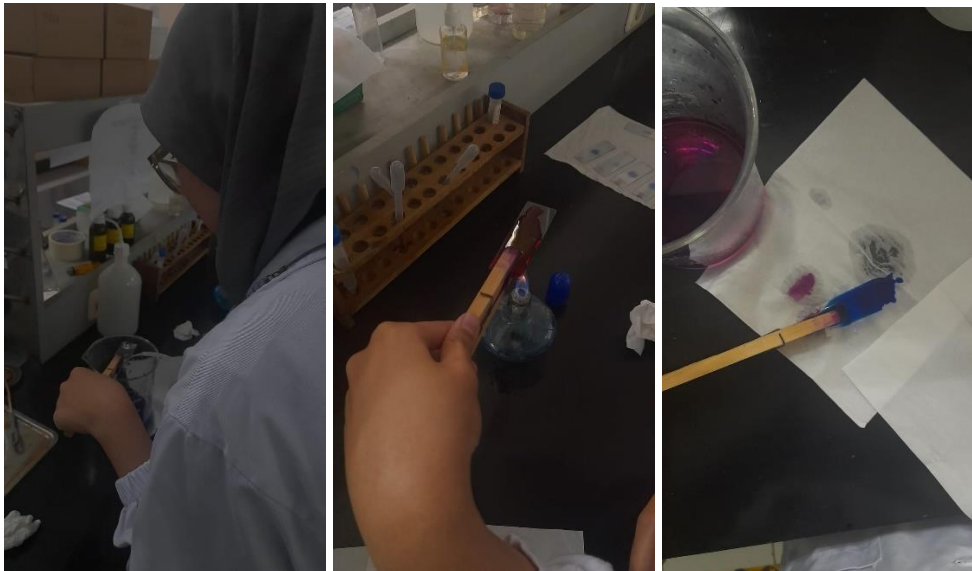
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel, Pewarnaan Sampel, dan Pengamatan Mikroskop



Pengambilan Sampel di PDAM Unit Tridadi

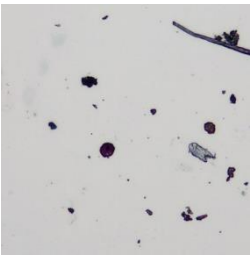
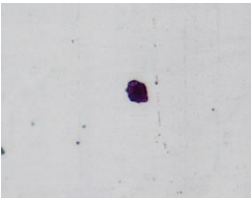
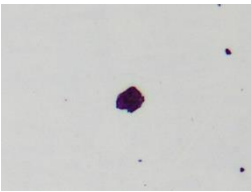
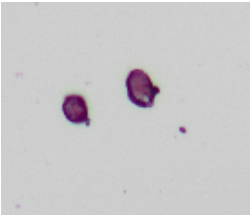
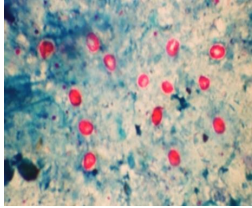
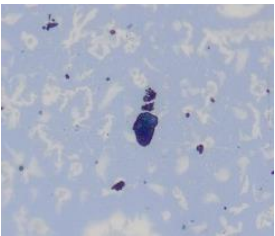
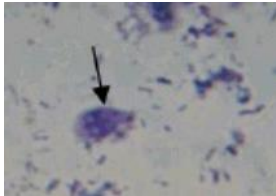


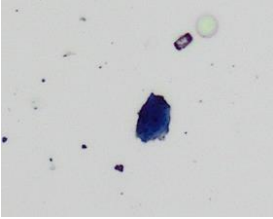
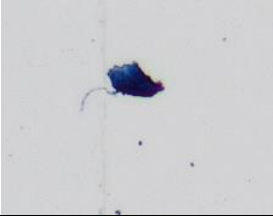
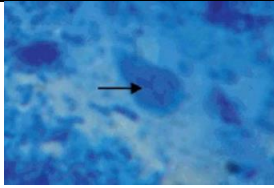
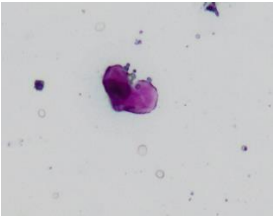
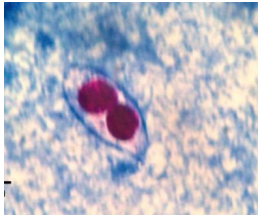
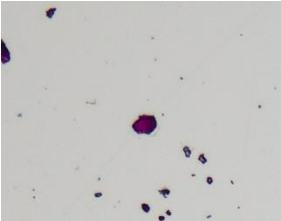
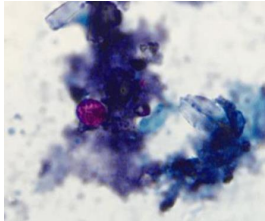
Pewarnaan Sampel Air PDAM Unit Tridadi



Pengamatan Sampel Uji dengan Mikroskop cahaya putih

Lampiran 2 Identifikasi Keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam Sampel Uji

Nama Organisme	Sumber Literasi	Gambar Hasil Pengamatan Mikroskop	Gambar Literatur
<i>Cryptosporidium</i>	Rekhal, Puttalakshamma & Placid, 2016. Comparison of Different Diagnostic Techniques for The Detection of Cryptosporidiosis in Bovines. <i>Veterinary World</i> , 9(2), pp. 211-215	   	
<i>Giardia lamblia</i>	Rajurkar, M. N., Lall, N., Basak, S. & Mallick, S. K., 2012. A Simple Method for Demonstrating the <i>Giardia Lamblia</i>		

	Trophozoite. <i>Journal of Clinical and Diagnostic Research</i>, 6(9), pp. 1492-1494	  	
<i>Isospora belli</i>	Rostami, M. N. et al., 2014. <i>Isospora belli</i> Associated Recurrent Diarrhea in a Child with AIDS. <i>Journal Parasit Dis</i>, 38(4), pp. 444-446.		
<i>Cyclospora cayentanensis</i>	Nurdian, Y. et al., 2024. Preliminary Investigation of		

	Association between Sanitation and Water Contamination by Cryptosporidium at Livestock Area in Jember. <i>Nursing and Health Science Journal</i> , 4(3), pp. 284-292.		
--	---	--	--

Lampiran 3 Standar Baku Mutu Parameter Pencemar Air menurut Permenkes dan US EPA

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2	<i>Total coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI/APHA
4	<i>Total Dissolve Solid</i>	<300	mg/L	SNI/APHA
5	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/APHA
7	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6,5 – 8,5	-	
9	Nitrat (sebagai NO_3^-) (terlarut)	20	mg/L	SNI/APHA
10	Nitrit (sebagai NO_2^-) (terlarut)	3	mg/L	SNI/APHA

11	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/APHA
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/APHA
14	Sisa khlor (terlarut)	0,2 – 0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI/APHA
15	Arsen (As) (terlarut)	0,03	mg/L	SNI/APHA
16	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/APHA
17	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
18	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
19	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

(Sumber: Permenkes No. 2 Tahun 2023 Tentang Kesehatan Lingkungan)

Contaminant	Maximum Contaminant Level Goal (MCLG)
<i>Cryptosporidium</i>	Zero
<i>Giardia lamblia</i>	Zero

(Sumber: *Environmental Protection Agency*, diakses 2 November 2024)

Lampiran 4 Data Hasil Uji Kualitas Air PDAM Unit Tridadi

No	Unit Pengolahan	Standar Baku Mutu							
		Parameter Fisik						Parameter Mikrobiologi	
		pH	Suhu (C)	Fe	TDS	Keke-ruhan	Sisa Chlo-r	<i>Escheri-cia coli</i>	Total <i>Coliform</i>
		6,5 - 8,5	Suhu Udara ± 3	0,2 (mg/L)	< 300 (mg/L)	< 3 (NTU)	0,2 - 1,2 (mg/L)	0 CFU/100 ml	0 CFU/100 ml
1	Sumber Air Baku I (DW)	6,7	27,4	2,11	290	6,72	-	-	-

2	Sumber Air Baku II (SB)	6,7	27,2	2,0 7	22 4	5,63	-		
3	Sumber Air Baku (SW)	6,9	27,4	0	19 7	0,58	-		
4	Outlet Filtrasi	6,9	27,3	0,1	20 6	1,21	-		
5	Outlet Reservoar	6,9	27,3	0,0 7	20 1	1,28	1,24		
6	Pelanggan Terdekat	6,9	27,3	0,0 9	12 0	1,01	0		
7	Pelanggan Tengah	6,9	27,5	0,1	20 6	1,25	1,19		
8	Pelanggan Terjauh	7	27,4	0,1 5	20 6	1,19	0		

(Sumber: Hasil Uji Kualitas Air PDAM Unit Tridadi Bulan September)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Penulis laporan tugas akhir ini bernama Fachra Syifa'a Ruhcahyani yang lahir di Kendari, 13 Juni 2002 merupakan anak ketiga dari Bapak L. M. Erawan Asman dan Ibu Satya Agustina Laksananny. Penulis menempuh pendidikan menengah terakhir di SMAN 1 Kendari. Kemudian penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi pada tahun 2020 di program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan