

TUGAS AKHIR
IDENTIFIKASI PROTOZOA *CRYPTOSPORIDIUM* DAN
***GIARDIA LAMBLIA* PADA PDAM SLEMAN UNIT**
NOGOTIRTO MELALUI METODE ZIEHL NEELSEN

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



KURNISAA WULAN WANGI
20513178

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

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI PROTOZOA CRYPTOSPORIDIUM DAN GIARDIA LAMBLIA PADA PDAM SLEMAN UNIT NOGOTIRTO MELALUI METODE ZIEHL NEELSEN

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



KURNISAA WULAN WANGI

20513178

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

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

NIK. 025100407

Tanggal:24 Desember 2024

Annisa Nur Lathifah,S.Si.,M.Sc.

NIK. 15513050

Tanggal: 24 Desember 2024



Any Juliani,S.T.,M.Sc.(Res.Eng.),Ph.D.

NIK.045130401

Tanggal: 24 Desember 2024

HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI PROTOZOA *CRYPTOSPORIDIUM* DAN *GIARDIA LAMBLIA* PADA PDAM SLEMAN UNIT NOGOTIRTO MELALUI METODE ZIEHL NEELSEN

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 24 Desember 2024

Disusun Oleh:

KURNISAA WULAN WANGI
20513178

Tim Penguji :

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

()

Annisa Nur Lathifah,S.Si.,M.Sc.

()

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

( 23/12/24)

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, 25 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Kurnisaa Wulan Wangi

NIM: 20513178

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillahirobbil' alamin puji Syukur kehadiran Allah ‘ Azza wa Jalla berkat rahmat, karunia dan kemurahanNya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah “IDENTIFIKASI PROTOZOA *CRYPTOSPORIDIUM* DAN *GIARDIA LAMBLIA* PADA PDAM SLEMAN UNIT NOGOTIRTO MELALUI METODE *ZIEHL NEELSEN*”.

Penulis selalu berusaha melakukan yang terbaik dalam pengerjaan Laporan tugas akhir ini sehingga diharapkan hasil yang didapat pada penelitian tugas akhir dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis dan PDAM Unit Nogotirto , namun juga bermanfaat bagi pembaca. Tiada yang sempurna di dunia ini melainkan Yang Maha Sempurna, Allah SWT. Oleh sebab itu, pada tugas akhir ini mungkin masih terdapat berbagai kekurangan, baik dalam hal penulisan maupun isi. Oleh sebab itu, kami sebagai penulis mengharapkan segala masukan, saran dan juga kritikan yang membangun guna kebaikan bersama.

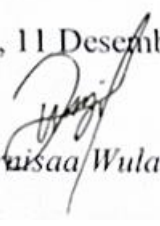
Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu dan mempermudah penulis dalam mengerjakan Laporan tugas akhir ini, antara lain kepada :

1. Bapak, Ibu dan keluarga penulis untuk segala bentuk dukungan dan doa yang selalu diberikan kepada penulis.
2. Bapak Dr.Ir.Andik Yulianto,S.T.,M.T selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bantuan dan saran mulai dari pra hingga pasca pelaksanaan tugas akhir kami.
3. Ibu Annisa Nur Lathifah,S.Si.,M.Sc selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bantuan dan saran mulai dari pra hingga pasca pelaksanaan tugas akhir kami.

4. Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan bantuan dan saran mulai dari pra hingga pasca pelaksanaan tugas akhir kami.
5. Bapak Subardi selaku Kepala Unit PDAM Nogotirto telah membantu dalam menyelesaikan penelitian di PDAM Nogotirto sehingga penelitian berjalan lancar
6. Staff dan laboran yang telah membantu kami dalam menyelesaikan kebutuhan administrasi di Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII sehingga kami dapat melaksanakan tugas akhir
7. Keluarga besar Teknik Lingkungan angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir kepada penulis
8. Teman-teman penulis dari SMA yaitu Nada, Darin, Acha, Alya, Widya, Yaya, Ayud, dan Gladish yang sudah memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir kepada penulis
9. Teman-teman penulis dari SMP yaitu Najwa, Hani, Naswa, Dinda, Winda, Ayu, dan Lika yang sudah memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir kepada penulis

Laporan tugas akhir ini kami akui masih banyak kekurangan karena pengalaman yang kami miliki masih sangat kurang. Oleh karena itu, kami harapkan kepada para pembaca untuk memberikan masukan – masukan yang bersifat membangun untuk kebaikan laporan ini. Semoga Laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan orang lain. Aamiin ya Rabbal alamin.

Yogyakarta, 11 Desember 2024


Kurnisaa Wulan Wangi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

KURNISAA WULAN WANGI. Identifikasi Protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia Lamblia* Pada PDAM Sleman Unit Nogotirto Melalui Metode Ziehl Neelsen. Dibimbing oleh Bapak Dr.Ir.Andik Yulianto,S.T.,M.T dan Ibu Annisa Nur Lathifah,S.Si.,M.Biotech.,M.Agr.,Ph.D.

Perumda Air Minum merupakan penyelenggara sumber air minum yang wajib memenuhi kualitas air minum yang aman bagi kesehatan terutama dalam kualitas air minum pada parameter mikrobiologi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil uji dari parameter mikrobiologi protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dengan perbandingan standar kualitas air minum di United States yaitu peraturan nasional air minum yang ditetapkan oleh EPA. Pengujian sampel dilakukan dengan mengambil sampel air baku, bak reservoir, dan pipa pelanggan pada PDAM Unit Nogotirto dilanjutkan dengan uji pewarnaan mikroorganisme Ziehl neelsen. kemudian pewarnaan akan diamati melalui mikroskop dengan perbesaran 10x-100x pada setiap 15 ml sampel uji untuk melakukan identifikasi diperlukan studi morfologi terkait protozoa serta analisis lingkungan, kualitas air, pengelolaan Air minum, dan kondisi sanitasi daerah pengambilan sampel. Hasil pemeriksaan laboratorium menunjukkan protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dapat terdeteksi pada sampel air baku, bak reservoir, dan pipa pelanggan PDAM Unit Nogotirto.

Kata kunci: Air Minum, *Cryptosporidium*, *Giardia Lamblia*, Protozoa, Ziehl Neelsen

ABSTRACT

Kurnisaa Wulan Wangi. *Identification of Cryptosporidium Protozoa and Giardia Lamblia on PDAM Sleman Unit Nogotirto by the Ziehl Neelsen method.. Supervised by Dr.Ir.Andik Yulianto,S.T.,M.T (Agustini, 2017) (J.Buffer, et al., 2012) (Environment Climet Change and Health (ECH), 2024) (K.D.Kidul, 2019) (Kumar, et al., 2016) (dapus) (dapus) (Maryanti, 2011)and Annisa Nur Lathifah,S.Si.,M.Biotech.,M.Agr.,Ph.D.*

Perumda Drinking Water is the organizer of drinking water sources that must meet the quality of drinking water that is safe for health, especially in drinking water quality in microbiological parameters. The purpose of this study was to determine the results of tests of the microbiological parameters of the protozoa Cryptosporidium and Giardia lamblia with comparison of drinking water quality standards in the United States: national drinking water regulations established by EPA. Sampling testing was carried out by taking samples of raw water, reservoir tubs, and customer pipes at PDAM Unit Nogotirto followed by the Ziehl neelsen microorganism coloring test. Then the colouration shall be observed through microscopes 10x-100x in each of the 15 test samples to carry out identification required morphological studies related to protozoa as well as analysis of the environment, water quality,Drinking Water Treatment, and sanitation conditions of the sampling area. Laboratory results show the protozoa Cryptosporidium and Giardia lamblia can be detected in raw water samples, reservoir tubs, and customer pipes of the Nogotirto Unit PDAM.

Keywords: Cryptosporidium, Drinking Water, Giardia Lamblia, Protozoa, Ziehl Neelsen,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Standar Kualitas Air Minum	5
2.1.1 Standar Kualitas Air Minum Permenkes	6
2.1.2 Standar Kualitas Air Minum EPA	8
2.2 Rencana Pengamanan Air Minum (RPAM) Terhadap Parameter Mikrobiologi.....	10
2.3 Mikroorganisme Air Minum.....	11
2.3.1 Cryptosporidium	11
2.3.2 Giardia Lamblia	15
2.4 Metode Ziehl Neelsen	18
2.5 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1 Alat.....	25
3.2.2 Bahan	25
3.3 Metode Penelitian.....	26
3.3.1 Pesiapan Pengambilan Sampel Air PDAM	26
3.3.2 Pengambilan Sampel Protozoa di Badan Air Minum PDAM	27

3.3.3 Identifikasi Protozoa dengan Modifikasi Pewarnaan Ziehl Neelsen	28
3.3.4 Pengamatan Protozoa <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia Lamblia</i> ...	29
3.4 Prosedur Analisis Data.....	31
3.4.1 Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil	33
4.1.1 Kondisi Eksisting PDAM Nogotirto	33
4.1.2 Hasil Pengamatan Protozoa <i>Cryptosporidium</i> di Tiap Unit Pengolahan PDAM Nogotirto	35
4.1.3 Hasil Pengamatan Protozoa <i>Giardia Lamblia</i> di Tiap Unit Pengolahan PDAM Nogotirto	37
4.2 Pembahasan.....	40
4.2.1 Analisis Kondisi Lingkungan dan Sanitasi pada Lokasi PDAM Unit Nogotirto	40
4.2.2 Analisis Faktor Sumber Air Pada PDAM Unit Nogotirto.....	41
4.2.3 Analisis Kondisi Pengolahan Air Pada PDAM Unit Nogotirto ..	44
4.2.4 Analisis Kebutuhan Parameter Mikroorganisme <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia lamblia</i> dalam Standar Kualitas Air Minum.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN	61
Lampiran 1. Kegiatan Pengambilan dan Pengamatan Sampel	61
Lampiran 2. Identifikasi <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia lamblia</i>	62
Lampiran 3. Hasil Uji Kualitas Air PDAM Nogotirto	63
Lampiran 4. Standar Baku Mutu PERMENKES No.2 Tahun 2023	64
Lampiran 5. National Primary Drinking Water Regulations U.S EPA	65
RIWAYAT HIDUP	66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 parameter mikrobiologi wajib standar baku mutu air minum permenkes nomor 2 tahun 2023.....	8
Tabel 2.2 Regulasi <i>National Primary Drinking Water</i> EPA	9
Tabel 2.2 Referensi Penelitian Terdahulu	19
Tabel 3.1 Metode Sampling Unit PDAM Nogotirto	27
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan <i>Cryptosporidium</i>	36
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan <i>Giardia Lamblia</i>	39
Tabel 4.3 Hasil Uji Kualitas Air PDAM Nogotirto	42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi Oocyst <i>Cryptosporidium</i>	13
Gambar 2.2 Siklus <i>Hidup Cryptosporidium</i>	15
Gambar 2.3 a) Morfologi bentuk kista <i>Giardia lamblia</i> b) Morfologi bentuk trofozoit <i>Giardia lamblia</i>	16
Gambar 2.4 Siklus Hidup <i>Giardia lamblia</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	23
Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel PDAM Unit Nogotirto	24
Gambar 3.3 Prosedur Pewarnaan Ziehl Neelsen	29
Gambar 4.1 a) Sumber Air Baku (dw I), b) Sumber Air Baku (dw II), c) Aerator, d) Sedimentasi, e) Filtrasi, f) Reservoir, g) Hydropoure.....	34
Gambar 4.2 Alur Pengelolaan PDAM Unit Nogotirto	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kegiatan Pengambilan dan Pengamatan Sampel	61
Lampiran 2. Identifikasi <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia lamblia</i>	62
Lampiran 3. Hasil Uji Kualitas Air PDAM Nogotirto	63
Lampiran 4. Standar Baku Mutu PERMENKES No.2 Tahun 2023	64
Lampiran 5. National Primary Drinking Water Regulations U.S EPA	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan lingkungan merupakan salah satu upaya dalam mengendalikan risiko penyakit menular maupun tidak menular dengan meningkatkan kemampuan untuk menyehatkan, pengendalian, dan pengamanan lingkungan secara fisik, biologi, kimia, serta sosial. Faktor-faktor risiko kesehatan lingkungan tersebut berpengaruh besar terhadap status kesehatan dan salah satu indikator kesehatan lingkungan yaitu kualitas air minum yang harus memenuhi standar kesehatan . Apabila air yang diakses tidak aman bagi kesehatan terutama bagi kebutuhan konsumsi makhluk hidup seperti air minum maka akan menimbulkan risiko tertular penyakit karena dalam bidang kesehatan terdapat beberapa jenis penyakit yang melibatkan proses penyebaran penyakit secara langsung maupun tidak langsung dimana berbagai agen penyakit yang menular melalui air yaitu virus, bakteri, protozoa, dan vektor. Lingkungan menjadi tempat tinggal agen penyakit dan melakukan penyebaran melalui *Water Borne Disease* (Priyanto, 2011).

Upaya dalam mengendalikan kualitas air adalah melalui penetapan standar kualitas air minum pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 2 tahun 2023 yang berisi pengawasan kualitas air minum dari penyelenggara air minum hingga ke pengguna air minum. Penetapan standar baku mutu air minum menjadi acuan untuk menjaga kualitas air minum. Salah satu parameter yang menjadi acuan air minum aman adalah parameter mikrobiologi bakteri *Escherichia coli* dan *Total Coliform* dimana air bersih bebas dari keberadaan kontaminasi bakteri tersebut (Kidul, 2019). Bakteri *E.coli* berasal dari sistem pencernaan bagian bawah manusia dan binatang sedangkan coliform merupakan sekelompok bakteri yang dipakai indikator

petunjuk keberadaan bakteri patogen. Standar air minum untuk antara negara bisa saja berbeda tergantung kemampuan akses setiap negara namun pada umumnya mengacu pada standar dari organisasi kesehatan dunia (WHO).

Menurut Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 parameter mikrobiologi yang ditetapkan adalah *total coliform* dan *Escherchia coli* sebagai indikator kontaminasi bakteri-bakteri patogen. *Total coliform* diuji untuk mengetahui bakteri-bakteri patogen yang ditemukan pada sumber air yang dapat memungkinkan adanya patogen penularan dari mikroorganisme lainnya. Adanya penetapan parameter tambahan sesuai dengan kondisi lingkungan hal ini juga dapat terjadi pada peraturan standar kualitas air minum di suatu negara atau daerah lainnya seperti pada *United States* terdapat standar air minum sendiri yang sesuai dengan undang-undang air minum aman. Pada Peraturan Nasional tentang air minum primer yang diterapkan pada EPA pada parameter mikrobiologi terdapat 7 parameter yaitu Kontaminan *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, *Heterotrophic plate count (HPC)*, *Legionella*, *Total Coliforms (Fecal Coliform dan E.Coli)*, *Turbidity*, dan Virus (Environmental Protection Agency United States, 2024).

Cryptosporidium dapat menular ookista ini dengan konsumsi air minum. Salah satu kontaminan lain yang memiliki kesamaan dengan protozoa *Cryptosporidium* adalah *Giardia lamblia* yang merupakan protozoa enterik zoonosis yang menjadi perhatian utama pada kesehatan sanitasi dan merupakan parasit yang paling sering dikaitkan dengan air karena penularan kontaminan ini sering terjadi akibat air yang telah terkontaminasi (Buffer, Williams, Medeiros, & LeJeune, 2012). Kedua kontaminan ini harus dihilangkan sebanyak 99.9% melalui desinfeksi air permukaan secara langsung atau yang terdapat pada pengolahan. Kontaminan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* berkembang lebih umum di negara berkembang dengan sanitasi buruk dan dapat menjadi ancaman bagi kesehatan masyarakat.

Maka penting untuk dilakukan identifikasi untuk mengetahui kontaminasi pada usaha pengelolaan air minum dengan mengaplikasikan metode konvensional pewarnaan ziehl neelsen. Uji ini dapat memungkinkan untuk

deteksi ookista *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dengan memurnikan jenis sampel air dalam sampel air mentah yang akan diolah uji ini umum dilakukan untuk mengetahui potensi risiko penularan kontaminan penyakit zoonosis di Asia Tenggara termasuk Indonesia (Kumar, Majid, Onichandran, & al, 2016). Identifikasi adanya kontaminan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dilakukan pada perusahaan yang mengolah distribusi air minum di kota Yogyakarta salah satunya adalah PDAM di Unit Nogotirto. Penelitian dilakukan agar terwujudnya visi misi pembangunan PERUMDA PDAM dalam menjamin kuantitas, kualitas, kontinuitas, dan keterjangkauan air minum sehingga dapat menyediakan air minum yang bermutu dan memenuhi standar kesehatan. Penelitian identifikasi kontaminan ini akan mengambil sampel air pada PDAM Sleman Unit Nogotirto yang meliputi pengelolaan air mulai dari air baku hingga air yang hendak didistribusikan pada masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah:

1. Apakah pada pengolahan air PDAM Unit Nogotirto terdapat *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* ?
2. Apakah keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dipengaruhi oleh faktor lingkungan, sanitasi, dan kualitas air pengolahan PDAM Unit Nogotirto ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menguji adanya mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* menggunakan metode pewarnaan *ziehl neelsen* melalui pengambilan sampel dari mulai air baku hingga air yang akan didistribusikan oleh PDAM Unit Nogotirto

2. Menganalisis pengaruh faktor lingkungan, sanitasi, dan kualitas air pengolahan PDAM Unit Nogotirto terhadap keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan mampu memberikan manfaat:

1. Mengembangkan studi literatur terbaru dalam identifikasi kontaminasi pada parameter mikrobiologi standar air minum internasional EPA *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* menggunakan metode pewarnaan ziehl neelsen
2. Hasil dari penelitian dapat digunakan untuk acuan penelitian selanjutnya

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian mengambil sampel pada 3 titik pengolahan PDAM yaitu sumber air baku, reservoir, dan unit distribusi
2. Pengujian kandungan mikroorganisme protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* pada sampel air minum PDAM Sleman Unit Nogotirto dengan metode *ziehl neelsen* dan diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran lensa objektif 1-100x
3. Pengujian dilaksanakan di laboratorium Bio Teknologi pada bulan Agustus-Oktober 2024

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Standar Kualitas Air Minum

Menurut *World Health Organization* (WHO) ketersediaan akses layanan air minum yang layak dan aman merupakan salah satu cara efektif dalam meningkatkan kesehatan dan mengurangi kemiskinan dengan pasokan air skala kecil cukup memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan hidup (Environment, Climate Change and Health (ECH), Water Sanitation, Hygiene and Health (WSH), 2024). Sebagian besar pasokan air minum global berasal dari pasokan skala kecil yang berasal dari sumur rumah tangga individu dan pasokan pipa yang melayani suatu komunitas dimana hal ini memberi kemungkinan mengalami kekurangan terkait keamanan kualitas air sehingga dapat mengakibatkan penyakit yang menular melalui air serta memberikan dampak pada sosial dan ekonomi. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus dalam memberikan kebijakan serta regulasi yang dapat mendukung keamanan kualitas air minum. *World Health Organization* telah mengembangkan pedoman untuk mengatasi kebutuhan dan peluang terkait kualitas pasokan air untuk memperbaiki layanan air minum agar tercapai kualitas air minum yang aman dan sumber daya air minum yang berkelanjutan. Pedoman yang dikeluarkan oleh WHO ditujukan untuk pengambilan keputusan di tingkat nasional dan subnasional yang bertanggung jawab dalam mengembangkan regulasi kualitas air minum dan program manajemen risiko pengawasan pasokan air skala kecil berikut merupakan peran dan tugas WHO dalam dokumen pedoman kualitas air minum :

1. Menetapkan, meninjau, dan merevisi regulasi, standar, dan kebijakan terkait kualitas air minum
2. Perencanaan strategis dan investasi untuk meningkatkan keamanan air minum

3. Memberikan bantuan teknis kepada pemasok air skala kecil salah satunya manajemen perencanaan keamanan air
4. Memverifikasi keamanan air minum melalui pengawasan independen
5. Mengumpulkan dan menganalisis data untuk memberikan informasi perbaikan di tingkat operasional dan kebijakan

WHO sendiri merupakan badan yang ditunjuk resmi oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dalam mengatur keamanan dalam kesehatan global sehingga pedoman ini merupakan panduan bagi organisasi pemerintah maupun non-pemerintah serta organisasi berbasis komunitas untuk mendukung operasi, manajemen, dan pengawasan pasokan air minum skala kecil. Meskipun sebagian besar peraturan berasal dari pedoman yang diresmikan oleh WHO tetap rekomendasi pengelolaan diarahkan pada institusi yang mengatur dan mendukung. Standar Air bersih dibutuhkan sebagai acuan kualitas air yang aman dan layak untuk dikonsumsi karena memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan oleh pemerintah atau badan pengatur yang berlaku. Setiap negara memiliki standar air minum berbeda tergantung pada kebutuhan dan kondisi geografis lingkungan yang ditetapkan oleh pemerintah melalui badan pengatur lingkungan dan kesehatan (Herdiasa, 2023). Regulasi yang mengatur standar air bersih harus selalu diperbarui dan ditingkatkan untuk menjaga kualitas air dengan melakukan perubahan berdasarkan pada penelitian dan pengembangan di bidang pengolahan air.

2.1.1 Standar Kualitas Air Minum Permenkes

Saat ini di Indonesia standar kualitas air minum diatur dalam regulasi PERMENKES Nomor 2 tahun 2023 tentang pelaksanaan peraturan pemerintah nomor 56 tahun 2014 tentang kesehatan lingkungan. Tertulis di dalam peraturan air minum merupakan air yang melalui pengolahan atau tanpa pengolahan yang telah memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Hal-hal yang diatur dalam peraturan tersebut hampir sama dengan dokumen yang telah ditetapkan oleh WHO dengan mengambil beberapa

pertimbangan dan ketentuan dari institusi terkait, berikut merupakan materi yang diatur dalam peraturan menteri yang telah ditetapkan terkait air minum :

1. Standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan media air
2. Upaya penyehatan
3. Upaya perlindungan kesehatan masyarakat
4. Tata cara pembinaan dan pengawasan

Standar baku mutu kesehatan lingkungan atau disingkat SBMKL merupakan spesifikasi teknis atau nilai yang dibakukan pada media lingkungan yang berhubungan langsung dan berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Peraturan ini membantu mengatur produsen/penyedia/penyelenggara air minum untuk memastikan air minum yang akan diproduksi memenuhi SBMKL dan prasyarat kesehatan (Kementerian Kesehatan , 2023). Sehubungan dengan amanat pemerintah Indonesia untuk mencapai 100% akses air minum aman maka diperlukan peningkatan kualitas air minum dan menjamin terpenuhinya air minum aman dengan melakukan pengawasan kualitas air minum dari penyelenggara air minum hingga ke pengguna air minum. Standar baku mutu kesehatan lingkungan media air minum terdapat parameter yang menjadi acuan air minum aman yaitu parameter fisik, parameter mikrobiologi, parameter kimia, dan parameter radioaktif. Dalam peraturan pemerintah ini parameter yang telah disebutkan terbagi menjadi parameter utama dan parameter khusus dimana parameter khusus menjadi tanggung jawab pemerintah daerah melalui kajian ilmiah. Sasaran penetapan standar baku mutu air minum ini ditujukan kepada penyelenggaraan dan produsen air minum yang dikelola dengan jaringan perpipaan, bukan jaringan perpipaan, dan komunal baik institusi maupun non institusi di permukiman. Parameter wajib yang ada di permenkes nomor 2 tahun 2023 tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2.1 parameter mikrobiologi wajib standar baku mutu air minum permenkes nomor 2 tahun 2023

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherchia Coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA

2.1.2 Standar Kualitas Air Minum EPA

Peraturan utama air minum nasional merupakan standar utama dan teknik pengolahan yang dapat ditegakkan secara hukum dan berlaku untuk sistem air publik di *United States*. Institusi yang mengatur batas hukum terkait kontaminan air minum tersebut adalah *Environmental Protection Agency* (EPA) dimana undang-undang air minum aman atau *Safe Drinking Water Act* memberikan standar utama dan teknik pengolahan air untuk melindungi kesehatan masyarakat dengan membatasi kadar kontaminan dalam air minum. Standar ini berfokus pada pengolahan sebagai cara untuk menyediakan air minum yang aman di keran karena masyarakat di Amerika sendiri sudah menerima air minum berkualitas tinggi setiap hari maka hal ini tidak dapat dianggap remeh dalam memperhatikan sejumlah ancaman terhadap air minum yang tidak diolah dengan benar. EPA telah menetapkan standar nasional untuk air minum berdasarkan ilmu pengetahuan yang solid untuk melindungi dari risiko kesehatan dengan mempertimbangkan teknologi dan biaya serta peraturan utama dari standar ini adalah menetapkan batas maksimum kontaminan yang dapat ditegakkan pada kontaminan tertentu dalam air minum dan cara yang diperlukan untuk mengolah air dengan menghilangkan kontaminan (Environmental Protection Agency United States, 2024). Selain menetapkan standar EPA juga menyediakan panduan, bantuan, dan informasi publik terkait air minum, mengumpulkan data air minum, dan mengawasi program air minum *United States*.

EPA menetapkan standar kualitas air minum melalui beberapa hal yaitu mengidentifikasi kontaminan yang dapat mempengaruhi kesehatan dan ditemukan dalam air minum dengan tingkat berisiko bagi kesehatan masyarakat, menentukan tujuan tingkat maksimum kontaminan dalam air minum, dan menetapkan tingkat maksimum yang diizinkan dari suatu kontaminan dalam air minum. Penentuan ini dibuat untuk melihat kemungkinan secara ekonomi dan teknis dalam menetapkan teknik pengolahan yang diperlukan untuk mengolah air minum (Environmental Protection Agency United States, 2024). Pada peraturan utama air minum nasional terdapat kontaminan-kontaminan yang diatur adalah sebagai berikut :

1. Mikroorganisme
2. Disinfektan
3. Produk Sampingan Desinfeksi
4. Bahan Kimia Anorganik
5. Bahan Kimia Organik
6. Radionuklida

Pada parameter mikroorganisme di EPA memiliki beberapa kontaminan yang berbeda dengan yang dimiliki pada standar baku mutu air minum PERMENKES No.2 tahun 2023 yaitu terdapatnya pengendalian nilai pada kontaminan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*.

Tabel 2.2 Regulasi *National Primary Drinking Water* EPA

Kontaminan	Maksimum kontaminasi level yang dicapai (MCLG)
<i>Cryptosporidium</i>	0
<i>Giardia lamblia</i>	0

2.2 Rencana Pengamanan Air Minum (RPAM) Terhadap Parameter Mikrobiologi

Rencana pengamanan air minum merupakan upaya pengamanan pasokan air minum mulai kualitasnya dengan upaya perlindungan (*prevention*) sumber air dan pencegahan (*protection*) tercemarnya badan air mulai dari segi kuantitasnya pada sumber (*catchment*) hingga ke keran air penduduk yang dilakukan oleh berbagai pihak terpadu menggunakan pendekatan analisis dan manajemen resiko agar tercapai standar kualitas air yang layak diterima seluruh pihak (PT.Padma Duta Consult, 2012). Tujuan adanya rencana ini adalah untuk mencapai keamanan penyediaan air minum serta tujuan lain dari pelaksanaan RPAM sendiri adalah sebagai berikut:

1. Menciptakan pengelolaan dan pelayanan air minum yang menjamin aspek 4k (kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan) air minum
2. Dalam jangka menengah untuk menciptakan kepentingan yang seimbang antara konsumen dan jasa pelayanan air minum
3. Dalam jangka panjang untuk meningkatkan efisiensi dan cakupan pelayanan air minum di Indonesia

Sebagai acuan dalam penilaian risiko dilakukan dengan menilai hasil produksi dan acuan kinerja RPAM 4k yang didefinisikan sebagai berikut:

1. K1 (kualitas) merupakan acuan kualitas air minum yang layak konsumsi menggunakan standar air minum yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan
2. K2 (kuantitas) merupakan acuan jumlah air yang dinilai cukup untuk penggunaan air masyarakat yaitu menggunakan standar kebutuhan pokok air minum yaitu sebesar 10 m³/kepala keluarga/bulan atau 60 liter/orang/hari
3. K3 (kontinuitas) merupakan acuan ketersediaan setiap saat aliran air dari instalasi pengolahan air minum ke pelanggan menggunakan standar lama pengaliran tidak terputus selama 24 jam/hari dengan

tekanan air minum (dinamis) di daerah pelayanan sebesar 1,5-5 bar (15-50 meter kolom air)

4. K4 (keterjangkauan) merupakan acuan harga air minum yang layak bagi masyarakat dimana tarif air minum dianggap terjangkau dengan tidak melampaui 4% dari pendapatan masyarakat/pelanggan.

Pemerintah Indonesia sedang berkomitmen untuk mencapai target 6.1 dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) yaitu mencapai pemenuhan kualitas air minum yang aman dan pemantauannya bagi masyarakat. Penyelenggara air minum wajib menjamin air minum yang diproduksi aman untuk dikonsumsi. Penyelenggara air minum itu sendiri adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), Koperasi, badan usaha swasta, usaha perorangan, kelompok masyarakat, dan/atau individual yang menyelenggarakan air minum. Upaya menjaga kualitas air minum berkaitan dengan proses pengolahan dan jaringan distribusi untuk konsumsi air minum perpipaan. Air minum aman merupakan air yang kualitasnya memenuhi standar baku mutu salah satunya tidak tercemar oleh zat pencemar mikrobiologi yang dapat mengancam kesehatan.

Terdapat tingkatan akses air minum dan metadata (Global) salah satunya adalah *Safely Managed* yang berarti air minum berasal dari sumber air yang lebih baik yaitu dapat diakses di tempat, tersedia saat dibutuhkan, dan bebas dari kontaminasi feses dan bahan kimia prioritas. Menurut kementerian kesehatan Republik Indonesia salah satu parameter keberhasilan dalam pengawasan kualitas air minum adalah menurunnya mortalitas serta morbiditas penyakit menular melalui air minum (Widya Utami, et al., 2022).

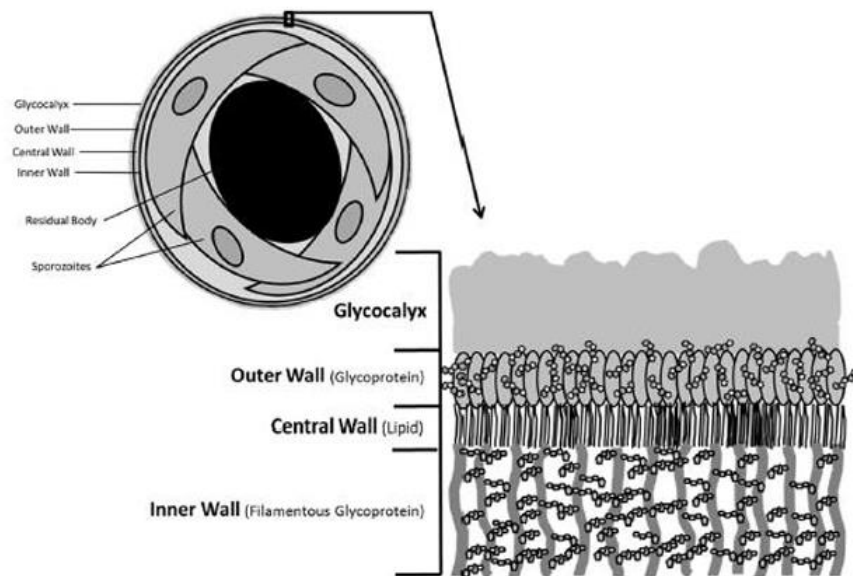
2.3 Mikroorganisme Air Minum

2.3.1 Cryptosporidium

Cryptosporidium sp ditemukan pertama kali oleh Tyzzer pada tahun 1907 pada kelenjar lambung mencit yang kemudian diidentifikasi sebagai *Cryptosporidium muris*. Selanjutnya pada tahun 1912 Tyzzer mengidentifikasi

Cryptosporidium spesies lain di usus halus yang disebut sebagai *Cryptosporidium parvum* dan dilaporkan pertama kali yaitu kasus seorang anak imunokompeten dan seorang dewasa dengan gejala diare . Patogen ini dapat menginfeksi saluran pencernaan pada usus halus sehingga menyebabkan diare akut pada manusia dan hewan. Diare yang disebabkan oleh patogen ini menyebar melalui organ lain pada individu imunokompromi karena memiliki autoinfeksi dan *Cryptosporidium* merupakan protozoa usus yang dapat menimbulkan gejala ringan dan bersifat *self limited* pada individu dengan defisiensi imun sehingga mengakibatkan gejala ringan sampai berat seperti diare kronis dan peningkatan angka kematian penderita HIV atau *Human Immunodeficiency Virus* (Wijayanti, 2017). Tahapan infeksi protozoa ini dimulai dari terbentuknya kista (oocyst) dengan ukuran 5-7 μm yang tahan terhadap lingkungan kemudian oocyst tersebut akan mencari host untuk melakukan ingestion yaitu melangsungkan excystation dan mengeluarkan infeksiif sporozoites menjadi parasit pada sel epitelila dalam saluran pencernaan host. Cara penularan *Cryptosporidium* umumnya melalui orang ke orang, air, makanan, dan binatang.

Patogen ini merupakan parasit Ccoidia bersel tunggal dan merupakan protozoa enterosit dengan ukuran sama dengan sel darah merah yang dapat menginfeksi mukosa usus halus (Maryanti, 2011). Terdapat 16 spesies *Cryptosporidium* yang dapat menginfeksi makhluk hidup seperti hewan ikan, reptil, burung, dan mamalia yaitu *C. parvum*, *C. hominis*, *C. felis*, *C. canis*, *C. wrairi*, *C. saurophilum*, *C. suis*, *C. scophthalmi*, *C. bovis*, *C. andersoni*, *C. muris*, *C. serpentis*, *C. molnari*, *C. galli*, *C. meleagridis*, dan *C. Bailey*. Dari 16 spesies ini hanya terdapat 8 yang dapat terlihat dan menginfeksi manusia salah satu jenis yang paling sering ditemukan pada manusia adalah *C. parvum*.



Gambar 2.1 Morfologi Oocyst *Cryptosporidium*
Sumber : (Mohseni, 2016)

Diantara spesies tersebut hal yang dapat membedakan antara satu sama lain adalah berdasarkan ukuran ookista dan sifat patogenisnya. Infeksi patogen dapat terjadi bila tertelan ookista matang yang keluar dari tinja hospes terinfeksi dengan melalui beberapa cara transmisi yaitu sebagai berikut :

1. Transmisi dari manusia ke manusia, infeksi dapat terjadi secara fekal oral dan kontak langsung dengan penderita
2. Transmisi dari hewan ke manusia, infeksi juga dapat terjadi pada hewan maupun manusia. Contoh hewan yang mungkin terkena infeksi menjadi hospes reservoir parasit ini adalah anak babi, kucing, anjing, dan tikus.
3. Transmisi melalui air minum, infeksi ookista yang terdistribusi luas di lingkungan perairan dapat memberikan kemungkinan penularan *Cryptosporidium*. Air minum yang diberikan klor tidak dapat membunuh ookista *Cryptosporidium*.

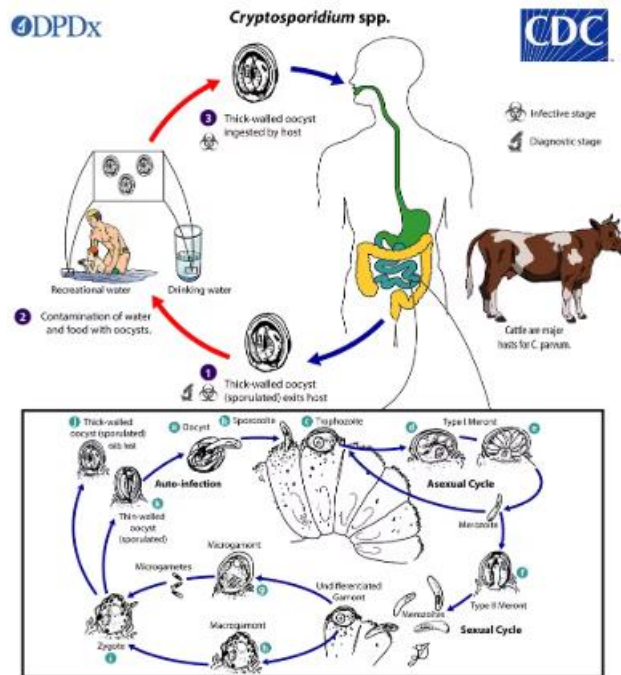
Protozoa seperti *Cryptosporidium* dapat menyebabkan penyakit kriptosporidiosis. Penyakit menular melalui *waterborne* dan *soil transmitted disease* karena sifat dari protozoa ini adalah obligat intraseluler (Nugraha, et al., 2011). Parasit bersifat obligat intraseluler merupakan bentuk reproduksi

tergantungan pada inangnya. Infeksi *Cryptosporidium sp* terjadi ketika tertelan ookista matang yang dihasilkan dari tinja hospes terinfeksi. Penularan parasit ini terjadi melalui transmisi perkembangan *Cryptosporidium* pada inangnya di dalam usus hingga saluran tinja yang dihasilkan.

Penularan *Cryptosporidium* pada inangnya di dalam usus hingga saluran tinja yang dihasilkan. Parasit ini memiliki beberapa agen penular seperti hewan peternakan dan hewan liar lainnya. Hewan yang terinfeksi akan mengkontaminasi lingkungan melalui kontak dari tinja hewan dan air. Siklus hidup *Cryptosporidium sp* terdiri dari enam tahap perkembangan serta berlangsung secara seksual dan aseksual dalam satu tubuh hospes (*monoxenus*) dalam saluran pencernaan (Maryanti, 2011). Siklus hidup parasit ini dimulai dari ekskresi yang terjadi di traktus gastrointestinal atas. Sporozoit keluar dari ookista akan menempel pada sel epitel keluar dari ookista akan menempel pada usus yang kemudian menjadi tropozoit. Tropozoit mengalami skizogoni dengan tiga kali pembelahan inti dan membentuk skizon generasi pertama dan mengandung delapan merozoit. Skizon pecah dan merozoit dapat menginfeksi sel epitel lain. Merozoit generasi pertama mengalami skizogoni lagi dengan dua kali pembelahan inti sehingga skizon generasi kedua mengandung empat merozoit. Skizon tersebut akan pecah dan keluar merozoit dan terus menginfeksi sel epitel lain kemudian tumbuh menjadi makrogametosit dan mikrogametosit. Makrogametosit berkembang menjadi makrogamet dan mikrogametosit mengalami pembelahan inti dan berubah menjadi mikrogamet sebanyak 12-16 buah. Satu mikrogamet ini kemudian akan membuahi makrogamet hingga terbentuk zigot. Zigot akan berkembang menjadi ookista yang mengandung empat sporozoit.

Setelah fertilisasi mikrogamet pada makrogamet maka ookista berkembang dalam inang yang terinfeksi. Terdapat dua jenis ookista berbeda yang diproduksi yaitu ookista berdinding tebal dikeluarkan dari inang dan ookista berdinding tipis terlibat dalam autoinfeksi. Ookista yang dikeluarkan bersifat infeksius sehingga memungkinkan penularan langsung dan segera melalui penularan fecal-oral. Setelah tertelan maupun melalui rute lain seperti

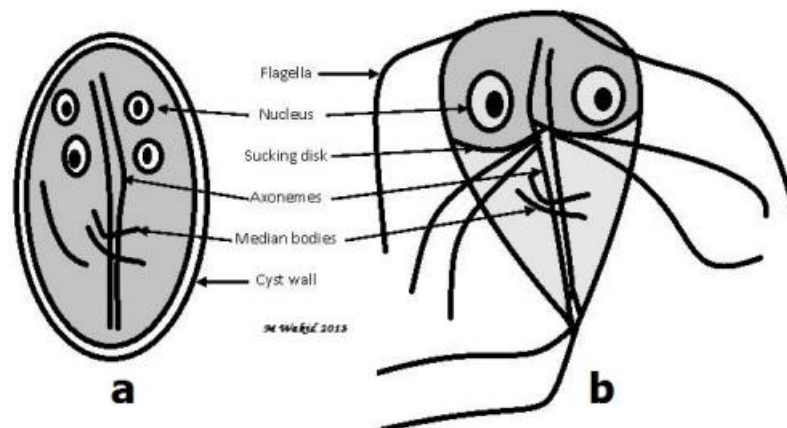
sekresi pernapasan eksistasi terjadi sehingga melepaskan sporozoit. Sporozoit tersebut akan menjadi parasit pada sel epitel saluran pencernaan ataupun jaringan lainnya seperti pernapasan.



Gambar 2.2 Siklus Hidup *Cryptosporidium*
Sumber : CDC lab

2.3.2 Giardia Lamblia

Giardia lamblia pertama kali ditemukan oleh Van Leeuwenhock pada tahun 1681 sebagai protozoa yang memiliki flagella dan berinti dua. Pada tahun 1954 Rendtoff melaporkan bahwa protozoa ini membawa kista *Giardia lamblia* dan dapat menyebar melalui air. Saat ini *Giardia lamblia* dikenal sebagai parasit penyebab penyakit gastrointestinal paling banyak di negara berkembang dan infeksi protozoa sebagai salah satu penyebab diare berdasarkan data WHO 1996 dengan jumlah sekitar 200 juta orang secara klinis mengalami penyakit akibat *Giardia lamblia* yang ditemukan pada feses. Spesies *Giardia lamblia* dibedakan berdasarkan morfologi trofozoitnya yaitu *G. lamblia*, *G. agilis*, *G. muris*, *G. ardeae*, dan *G. Psittaci*). (Harun, et al., 2019)



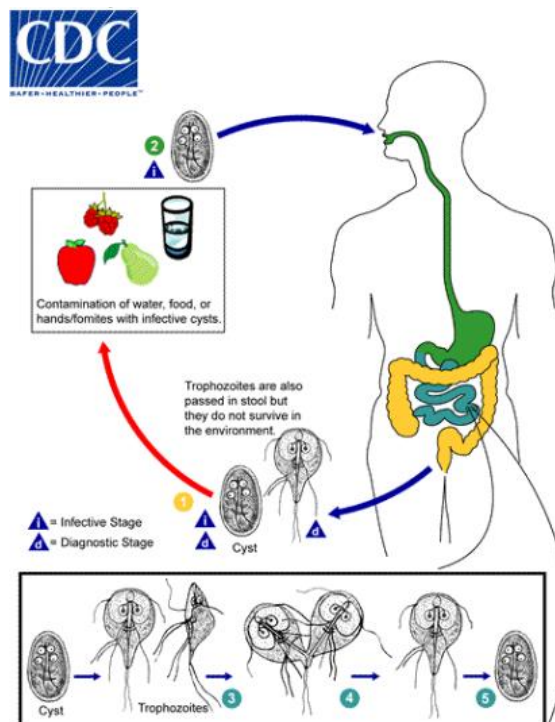
Gambar 2.3 a) Morfologi bentuk kista *Giardia lamblia* b)
Morfologi bentuk trofozoit *Giardia lamblia*
Sumber: (Wakid & Shalaby, 2014)

Giardia lamblia mempunyai bentuk buah pear trophozoite dengan panjang 9-21 μm dan lebar 7-10 μm pada tahap kista berbentuk telur dengan panjang 8-12 μm . Infeksi dapat disebabkan dari ingestion kista yang ditemukan di dalam air. Infeksi ini berlangsung dengan melepaskan trophozoite untuk menempel pada sel epitel dibagian atas usus halus dan memproduksi kembali secara fisi binary. Trophozoite melapisi epithelium saluran pencernaan dan mengakibatkan gangguan pada adsorpsi lemak dan nutrient lainnya sehingga membentuk kista selama melewati pencernaan hingga ke usus besar. Umumnya transmisi penyakit giardiasis berhubungan langsung dengan konsumsi air yang tidak diolah maupun melalui pengolahan tidak sempurna akibat kesalahan konstruksi desain saringan sehingga *Giardia lamblia* dapat masuk dan mencemari air minum (Said & Marsidi, 2005).

Morfologi *Giardia* terbagi menjadi dua yaitu tropozoit dan kista. Pada bentuk tropozoit tidak tahan pada lingkungan luar dan mudah mati sedangkan pada bentuk kista parasit mampu hidup lebih lama pada kondisi lingkungan darat dan air. Bentuk kista pada giardia juga tahan terhadap bahan kimia seperti khlorin dan suhu air yang panas dan dingin. Pada bentuk kista merupakan bentuk infeksi dalam rantai penularan hewan dan manusia. Siklus hidup *Giardia*

terdiri dari beberapa mekanisme pembelahan parasit setelah termakan oleh inang.

Siklus hidup *Giardia lamblia* dimulai saat kista dewasa yang berisi empat inti termakan oleh inang. Proses tersebut disebut eksistasi di duodenum keluarnya parasit motil menjadi dua trophozoit. Eksistasi terjadi setelah kista terkena asam pada lambung dan enzim pankreas ketika melewati lambung dan usus halus. Pada saat sitoplasma membelah dan flagela tumbuh dari bagian aksonema dan terbentuk dua trophozoit. Trophozoit tersebut akan bergerak cepat antara vili-vili usus dengan batil isapnya akan melekat pada epitel usus yang dapat merusak dan mengganggu penyerapan (absorpsi). Multiplikasi trophozoit akan menghasilkan selaput pembatas antara sel epitel usus dan lumen usus yang mengakibatkan terjadinya malabsorpsi parah. Trophozoit yang tidak melekat pada mukosa usus akan mengikuti pergerakan peristaltik menuju usus besar dan terjadi proses enkistasi dalam perjalanan ke kolon yang diinduksi. Setelah terjadi proses enkistasi kista bercampur dalam feses dan dikeluarkan oleh tubuh. (Wardhana, 2017)



Gambar 2.4 Siklus Hidup *Giardia lamblia*
Sumber : CDC Lab

2.4 Metode Ziehl Neelsen

Pewarnaan Ziehl Neelsen merupakan pewarna bakteri tahan asam atau sering juga disebut pengecatan BTA. Metode ini pertama kali ditemukan oleh dua orang doktor asal Jerman bernama Frans Ziehl (1859-1926) dan seorang pakar bakteri dan ahli patologi Friedrich Neelsen (1854-1894). Cat yang digunakan pada metode ini mengandung zat warna karbo fuchsin yang merupakan asam untuk mengidentifikasi organisme/bakteri tahan asam terutama mikrobakteria (R & Agustiningtyas, 2021). Pemeriksaan mikrobakteria dengan ziehl neelsen merupakan metode identifikasi sederhana bakteri tahan asam dan umum digunakan pada mikrobakteria *Tuberculosis* akan tetapi juga dapat digunakan untuk mikrobakteria lain. Mikrobakteria memiliki dinding sel yang tebal mengandung wax dari lipid dan asam mikolat sehingga menyebabkan bakteri ini sulit ditembus menggunakan metode pengecatan biasa. Komposisi cat dan mekanisme pengecatan dibagi menjadi tiga yaitu sebagai berikut:

1. ZN A: cat primer yang merupakan *carbol fuchsin* 1% cat merah gelap dalam 5% phenol yang larut dalam bahan lipid yang dimiliki oleh dinding sel mikrobakteria. Penetrasi cat ini dipermudah dengan adanya pemanasan yang membantu *carbol fuchsin* menembus dinding lipid menuju sitoplasma
2. ZN B: *decolorizing agent*, berisi asam alkohol (3% HCl dan 95% Ethanol) dimana sifat larutan ini dapat mengeraskan dinding sel yang tersusun dari lipid, Dekolorisasi menggunakan asam alkohol tidak dapat melunturkan cat primer ZN A karena lebih larut dibandingkan ZN B sehingga tetap tertahan di dalam sitoplasma dan menyebabkan bakteri ini tetap warna merah
3. ZN C: *counterstain* berisi *Methylene blue* 0,1% dimana hanya sel bakteri non-BTA yang terwarnai karena mengalami dekolorisasi pada saat pencucian dengan ZN B. Sedangkan bakteri mikroba yang merupakan BTA telah meretensi cat ZN A.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk referensi serta menjadi pembanding pada penelitian yang dilakukan

Tabel 2.2 Referensi Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tema Penelitian	Hasil Penelitian
1	Tastapyani & Barti.2017	<i>Cryptosporidium</i> sebagai indikator biologi dan indeks Nsf-Wqi untuk mengevaluasi kualitas air	Protozoa <i>Cryptosporidium</i> diidentifikasi dengan cara modifikasi pewarnaan asam dari <i>Ziehl Neelsen</i> kemudian dilakukan perhitungan jumlah protozoa pada sampel. Metode pewarnaan ini memiliki kelebihan dan kekurangannya karena merupakan metode asam sederhana dan mudah dilakukan disisi lain memiliki kapasitas sensitivitas yang rendah dan tidak spesifik dalam identifikasi sehingga terdapat

			pewarnaan parasit protozoa lainnya
2	Henriksen & Pohlenz.2023	<i>Staining of Cryptosporidia by a modified ziehl neelsen technique</i>	Metode pewarnaan ziehl neelsen yang dimodifikasi adalah metode yang andal untuk deteksi cryptosporidia dalam smear dari sampel. Metode ini memungkinkan observasi cryptosporidia pada pembesaran rendah (menggunakan lensa kering) dan menghilangkan masalah diagnosis diferensial terkait keberadaan ragi.

Penelitian yang akan dilaksanakan adalah melakukan Identifikasi bakteri *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* pada PDAM Sleman Unit Nogotirto dengan menggunakan metode Pewarnaan Ziehl Neelsen. Identifikasi bakteri patogen pada air minum belum dilakukan secara menyeluruh pada operator penyedia air bersih seperti PDAM terutama pada bakteri *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* yang tidak masuk dalam parameter mikrobiologi pada standar kualitas air minum permenkes No.2 tahun 2023. Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA) bakteri tersebut termasuk dalam parameter

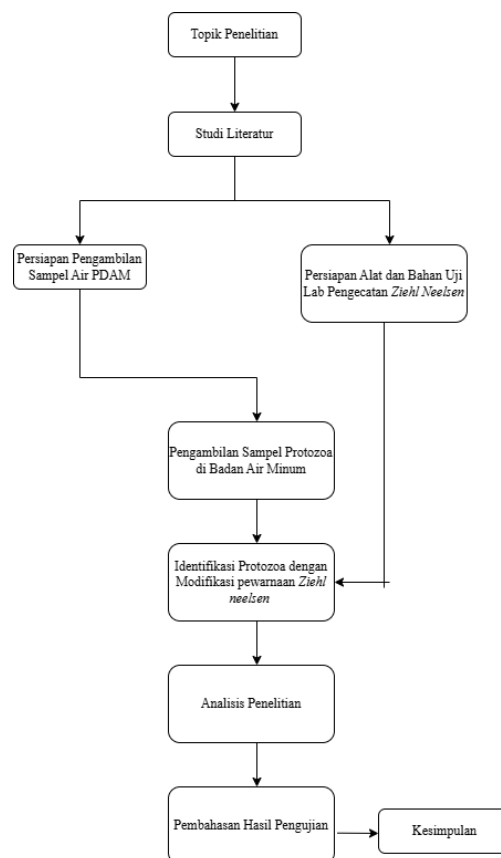
mikrobiologi yang harus diperhatikan dalam standar kualitas air minum karena termasuk dalam bakteri patogen dan parasit yang menular melalui *water borne disease* sehingga dapat menularkan penyakit seperti diare. Pada penelitian ini melakukan identifikasi menggunakan metode konvensional dengan melakukan pewarnaan gram bakteri metode ziehl neelsen untuk melihat keberadaan bakteri tersebut pada sampel air minum dari operator distribusi air bersih di PDAM Unit Nogotirto dan melakukan perbandingan dengan standar kualitas air minum yang berlaku di Indonesia yaitu permenkes No.2 tahun 2023 dan Standar *Environmental Protection Agency* (EPA) yang berlaku di *United States*. Dengan adanya identifikasi terhadap mikroorganisme patogen ini diharapkan dapat mengembangka Rencana Pengamanan Air Minum di Indonesia terutama pada kualitas air minum yang bebas dari parameter mikrobiologi mengandung parasit menular melalui air minum yang dikonsumsi pada masyarakat sehingga aman untuk dikonsumsi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

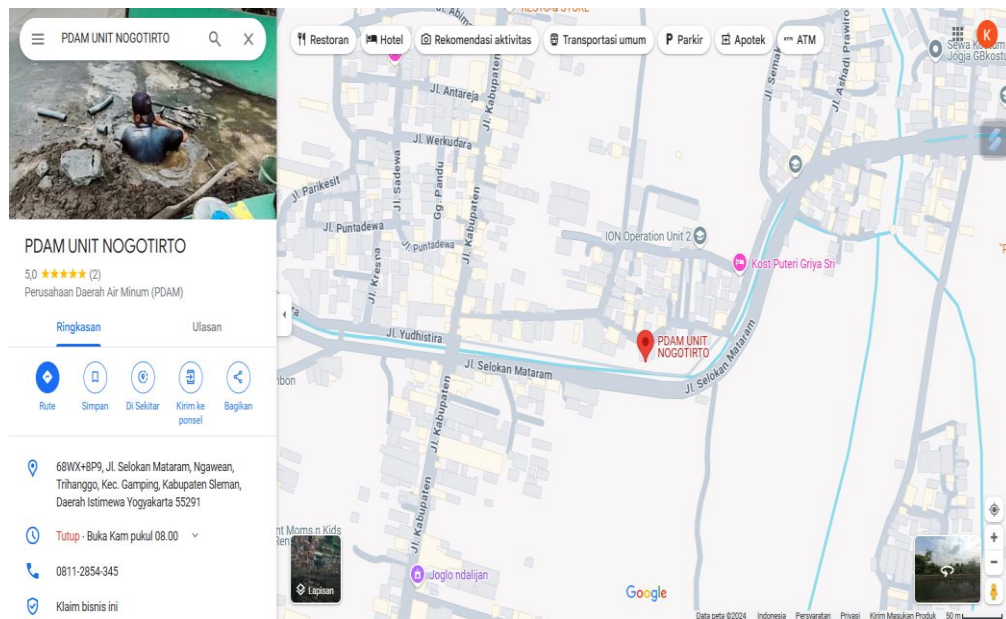
Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium. Persiapan dilakukan dengan langkah pengambilan sampel air pada instalasi dan jaringan distribusi pipa yang berada di PDAM Kabupaten Sleman Unit Nogotirto, kemudian dilakukan analisis parameter mikrobiologi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* di laboratorium menggunakan metode pewarnaan ziehl neelsen. Penelitian dilaksanakan tahapan proses dalam penelitian digambarkan menggunakan diagram alir seperti yang dapat dilihat di gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PDAM Sleman Unit Nogotirto dengan mengambil sampel pada sumber air baku, bak reservoir, dan pipa pelanggan. Tahapan analisis identifikasi mikrobakteri *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Penelitian dimulai pada bulan Agustus 2024 sampai Oktober 2024



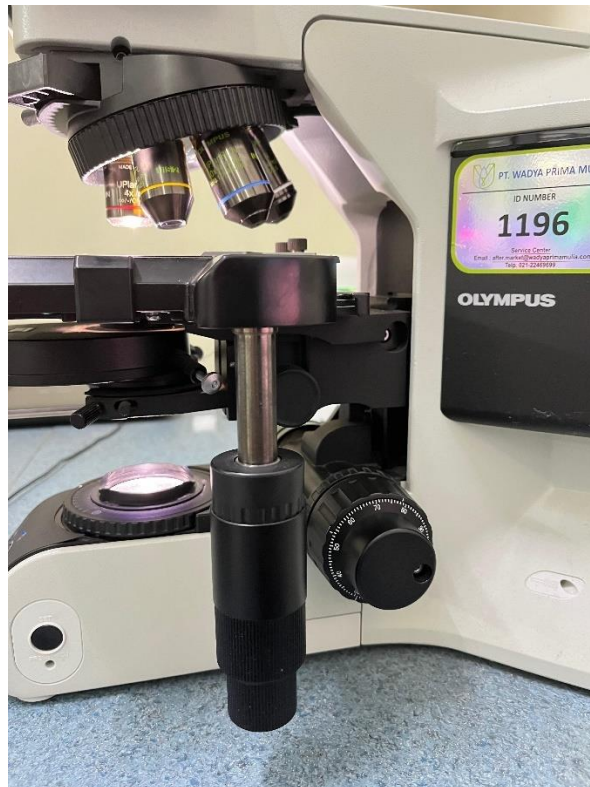
Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel PDAM Unit Nogotirto
Sumber : Google Maps (diakses 23 Oktober 2024)

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini melakukan identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dengan metode pewarnaan *ziehl neelsen* menggunakan alat dan bahan:

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mengidentifikasi mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dengan alat bantu mikroskop Cahaya untuk memberikan visualisasi detail halus objek. Mikroskop Cahaya biasa digunakan dalam laboratorium biologi untuk memperbesar dan menganalisis objek yang kecil seperti mikroorganisme.



Gambar 3.2 Mikroskop Polaris Olympus BX53-P

3.2.2 Bahan

Komposisi cat dan mekanisme pengecatan pada metode Ziehl neelsen dibagi menjadi tiga yaitu sebagai berikut:

1. ZN A: cat primer yang merupakan *carbol fuchsin* 1% cat merah gelap dalam 5% phenol yang larut dalam bahan lipid yang dimiliki oleh dinding sel mikrobakteria. Penetrasi cat ini

dipermudah dengan adanya pemanasan yang membantu *carbol fuchsin* menembus dinding lipid menuju sitoplasma

2. ZN B: *decolorizing agent*, berisi asam alkohol (3% HCl dan 95% Ethanol) dimana sifat larutan ini dapat mengeraskan dinding sel yang tersusun dari lipid, Dekolorisasi menggunakan asam alkohol tidak dapat melunturkan cat primer ZN A karena lebih larut dibandingkan ZN B sehingga tetap tertahan di dalam sitoplasma dan menyebabkan bakteri ini tetap warna merah
3. ZN C: *counterstain* berisi *Methylene blue* 0,1% dimana hanya sel bakteri non-BTA yang terwarnai karena mengalami dekolorisasi pada saat pencucian dengan ZN B. Sedangkan bakteri mikroba yang merupakan BTA telah meretensi cat ZN A.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Pesiapan Pengambilan Sampel Air PDAM

Pada tahap persiapan pengambilan sampel ini dimulai dengan melakukan persiapan alat seperti protozoa net untuk penyaringan dan botol penyimpanan 15 ml sebanyak jumlah titik sampel untuk menyimpan hasil sampling. Untuk bahan yang diperlukan nantinya dalam menyimpan hasil sampel dengan mempersiapkan cairan iodine dan formalin. Pembuatan iodine dicampurkan aquades dengan perbandingan 1:1 sebanyak 50 ml. Larutan iodine yang digunakan adalah sebanyak 5 tetes. Pada larutan formalin 4% juga dibuat dengan mencampurkan larutan formalin dan aquades dengan perbandingan 1:1 sebanyak 50 ml. Penambahan larutan formalin 4% pada sampel adalah sebanyak 1 ml.

Pengambilan sampel air di dalam instalasi pengolahan air dilakukan untuk mengetahui keberadaan protozoa di dalam instalasi mulai dari air baku sampai dengan air hasil olahan. Jumlah titik sampling tergantung pada banyaknya proses yang digunakan dalam pengolahan air seperti air baku, air di bak penampung reservoir, dan air di konsumen. Dalam teknik pengambilan

sampel ini menggunakan grab sample yaitu air yang diambil pada satu kali pengambilan dari satu lokasi.

Tabel 3.1 Metode Sampling Unit PDAM Nogotirto

No	Unit Pengolahan	Metode Sampling	Referensi
1	Unit Air Baku (DW 1)		SNI 7828:2024 Tentang Pengambilan Contoh Uji Air
2	Unit Air Baku (DW II)	Grab Sampling	Dari Sistem Penyediaan Air Minum dan SNI 9063:2022
3	Unit Reservoir		Tentang Metode Pengambilan
4	Unit Jaringan Distribusi		Contoh Uji Air dan Air Limbah Untuk Parameter Mikrobiologi

3.3.2 Pengambilan Sampel Protozoa di Badan Air Minum PDAM

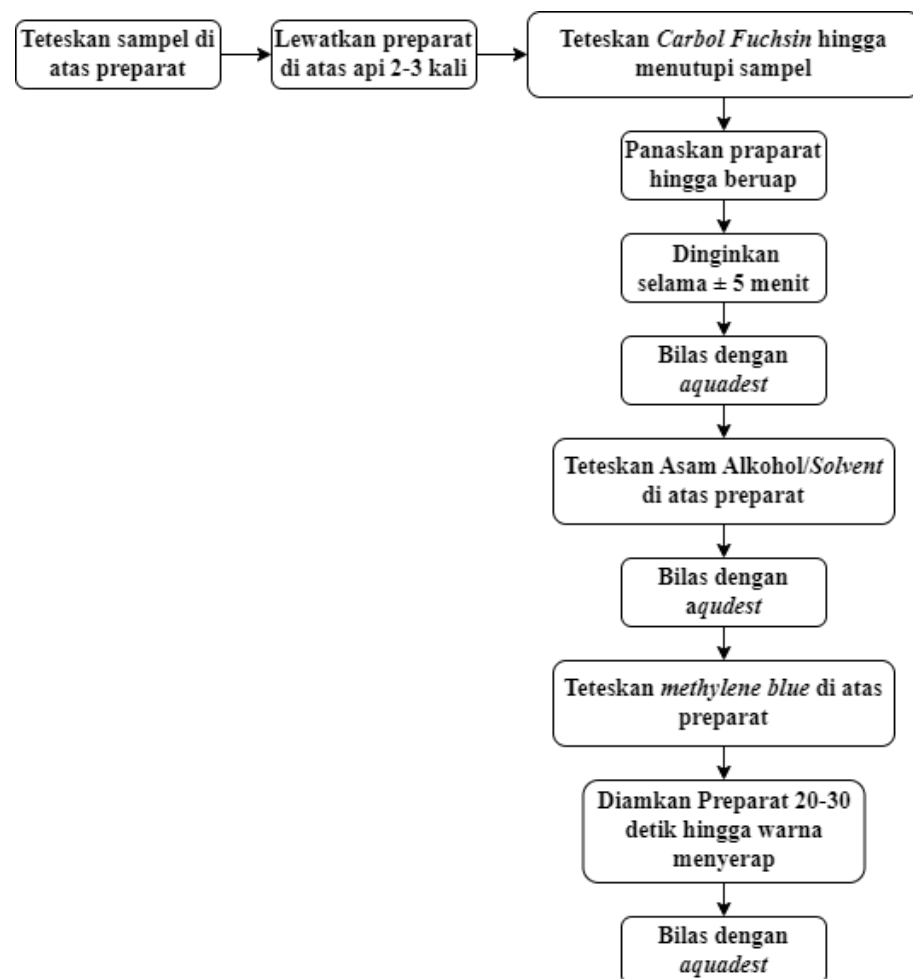
Proses sampling untuk mengambil protozoa di Badan Air Minum PDAM unit Nogotirto dibantu menggunakan alat *plankton net* berukuran *mesh* sebesar 30 μm . Proses penyaringannya dilakukan secara vertikal dan horizontal dengan volume air sebanyak 1 L. Kemudian hasil saringan akan dimasukan kedalam botol penyimpanan sebesar 15 ml dan diberikan iodine sebanyak 5 tetes dan 1 ml formalin 4%. Pengambilan sampel air mengacu pada SNI 7828:2024 tentang Pengambilan Contoh Air Minum dari Instalasi Pengolahan Air dan Sistem Jaringan Distribusi Pipaan. Untuk memastikan kondisi aseptis pengambilan Sampel khusus uji mikrobiologi memperhatikan acuan SNI 9063:2022 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Air dan Air Limbah untuk Parameter Mikrobiologi terkait pencucian, pembilasan, dan aseptik dengan nyala api sebelum pengambilan contoh uji air.

Terdapat 3 titik pengambilan sampel yaitu sumber air baku, bak reservoir, dan pipa distribusi dalam waktu 1 hari. Pada metode pengambilan

sampel menggunakan *Grab Sampling* dilakukan pengambilan sampel hanya satu kali pada satu lokasi titik untuk mewakili kualitas air pengambilan yang cenderung stabil. Terakhir sampel akan disimpan dalam *refrigerator* dengan temperatur 3° c sebelum dilakukan analisis dengan menggunakan mikroskop.

3.3.3 Identifikasi Protozoa dengan Modifikasi Pewarnaan Ziehl Neelsen

Pengujian parameter *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* pada sampel air sebelumnya telah diambil dan disimpan akan dilakukan identifikasi uji metode pewarnaan ziehl neelsen dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Metode ziehl neelsen mengacu pada standar pewarnaan berdasarkan aturan dan pedoman lembaga kesehatan seperti WHO (*World Health Organization*). Tahapan pengujian dapat dilihat pada diagram alir berikut



Gambar 3.3 Prosedur Pewarnaan Ziehl Neelsen
Sumber: Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran UNIMUS

Pewarnaan dilakukan dengan meneteskan sampel pada preparat sebanyak 2,5 ml kemudian preparat dipanaskan sebanyak 2-3 kali lewat api bunsen. Sampel yang sudah ditetaskan pada preparat akan diwarnai dengan pewarnaan asam menggunakan karbol fuchsin yang kemudian dipanaskan hingga beruap. Setelah sampel yang diwarnai karbol fuchsin dipanaskan maka dinginkan selama ± 5 menit kemudian bilas dengan aquades. Pembilasan dilanjutkan dengan meneteskan asam alkohol atau *solvent* di atas preparat kemudian bilas kembali dengan aquades. Tahap terakhir pewarnaan dilakukan dengan meneteskan *methylene blue* hingga menutupi preparat kemudian diamkan selama 20-30 detik hingga warna menyerap dan bilas dengan aquades.

Pada proses pewarnaan ini dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali untuk memastikan keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Di setiap pengulangan jumlah sampel yang diambil adalah 2,5 ml untuk 1 preparat. Metode pewarnaan ziehl neelsen dilakukan untuk mendeteksi bakteri tahan asam dengan pemberian *carbol fuchsin* dan juga *methylene blue* sehingga pada protozoa seperti *Cryptosporidium* akan terlihat berwarna merah atau pudar. Sedangkan untuk protozoa seperti *Giardia lamblia* akan menyerap *methylene blue* sehingga dibawah pencahayaan mikroskop putih akan berwarna biru.

3.3.4 Pengamatan Protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia Lamblia*

Pada pengujian ini dilakukan pengulangan uji sebanyak 5 kali untuk memastikan keberadaan mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Sampel air yang di uji menggunakan kaca preparat cekung berdiameter 1,5 cm. Satu kali pengulangan saat uji sampel dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 2,5 ml dari 15 ml. Sampel air baku, air reservoir, dan air distribusi akan diamati menggunakan mikroskop dibawah perbesaran lensa objektif 4x dan 10x dengan *phase contrast* 0 sampai 4. Identifikasi

protozoa dilakukan dalam keadaan mikroorganisme hidup dan diwarnai. Pewarnaan mikroorganisme dapat menunjukkan susunan morfologi protozoa. Karakter yang ada merupakan hal yang utama dalam identifikasi spesies. Pewarnaan mikroorganisme menggunakan ziehl neelsen dapat mengidentifikasi bakteri tahan asam sehingga pada pewarnaan ini memberikan warna pada *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Oleh karena itu ditentukan beberapa parameter untuk identifikasi mikroorganisme seperti :

1. Kejelasan Gambar

Kejelasan gambar memperlihatkan kualitas gambar yang dapat dilihat melalui mikroskop. Pengamatan mikroorganisme pada sampel air terdapat beberapa kotoran yang mengganggu sehingga diperlukan kualitas gambar yang jelas untuk mengetahui morfologinya seperti bentuk dan warna untuk *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*.

2. Identifikasi Protozoa

Identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia Lamblia* dilakukan untuk mengetahui keberadaan protozoa serta identifikasi faktor lingkungan dan pengolahan pada PDAM. Kejelasan morfologi protozoa diperlukan untuk memudahkan identifikasi.

3. Persiapan Sampel

Sampel air akan diamati selama 30 menit sampai 2 jam. Pada pengujian ini terdapat banyak sampel yang diamati di setiap pengulangannya sehingga dibutuhkan keefisienan waktu dalam persiapan sampel untuk mengatasi keterbatasan waktu penggunaan sampel.

3.4 Prosedur Analisis Data

3.4.1 Analisis Data

Analisis dilakukan untuk memberikan penjelasan terhadap identifikasi mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Analisis ini bertujuan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi terkait keberadaan mikroorganisme tersebut dan kondisi lingkungan serta pengolahan pada PDAM yang mendukung penyebaran. Berikut alur analisis data dan faktor penting dalam identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* :

1. Pengumpulan Data Identifikasi Mikroorganisme

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel air PDAM untuk mendeteksi oocyst *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Metode identifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pewarnaan ziehl neelsen.

2. Analisis Faktor Keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

Analisis dilakukan dengan menghubungkan keberadaan mikroorganisme dengan berbagai faktor seperti berikut :

- a. Sumber Air : Pada sumber air menjadi salah satu faktor utama terdapat keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* karena terkontaminasi oleh feses manusia atau hewan akibat sumber air yang tidak diolah dengan baik dan kondisi sanitasi yang buruk.
- b. Kondisi Sanitasi & Lingkungan : Kondisi Sanitasi sekitar wilayah penelitian menjadi salah satu faktor terdapatnya penyebaran mikroorganisme parasit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Data yang dapat dikumpulkan berupa akses sanitasi pada wilayah penelitian.
- c. Faktor Pengelolaan Air Minum: Faktor Pengelolaan Air Minum pada PDAM juga memiliki pengaruh terhadap penyebaran mikroorganisme parasit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*.

Berdasarkan sumber air yang digunakan pada PDAM menjadi salah satu faktor utama maka pengelolaan pada instalasi air minum dapat menjadi faktor penyebaran kontaminan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Kondisi Eksisting PDAM Nogotirto

PDAM Nogotirto merupakan salah satu unit pengolahan air minum yang sudah beroperasi sejak tahun 1991 dengan jumlah pelayanan pelanggan sebanyak 1.650 (SR). Pada unit ini kapasitas distribusi air yang dihasilkan yaitu 20 liter/detik dengan waktu distribusi selama 24 jam. Sumber air baku dari pengolahan air PDAM Nogotirto adalah sumur dalam atau *deepwell* dan sumur dangkal atau *shallowwell*. Pengolahan air yang dilakukan di PDAM Nogotirto meliputi Sumber air baku (*deepwell*), Aerator, Sedimentasi, Filtrasi, Reservoir, dan Hydrophore.





Gambar 4.1 a) Sumber Air Baku (dw I), b) Sumber Air Baku (dw II),
c) Aerator, d) Sedimentasi, e) Filtrasi, f) Reservoir, g) Hydropoure

Pengolahan air pada PDAM Nogotirto dimulai dari sumber air baku yang digunakan pada PDAM nogotirto sendiri berasal dari mata air sumur dalam (*deep well*) dan sumur dangkal (*shallow well*). Saat ini ketika memasuki musim kemarau PDAM Nogotirto juga mengambil sumber air dari SPAM Regional Yogyakarta yang berasal dari sumber air permukaan sungai Progo. Khlorinasi yang digunakan sesuai arahan dari PDAM pusat Sleman dan PERMENKES yaitu selama 1 x 24 jam khlorinasi yang digunakan adalah sebanyak 6 kg dengan pemberian khlorin berupa kalsium hipoklorit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Pemberian khlorin dilakukan pada 12 jam sekali sebanyak 3 kg disetiap pengadukannya. Terakhir air bersih akan didistribusikan ke pelayanan setelah memasuki hydrophore.

4.1.2 Hasil Pengamatan Protozoa *Cryptosporidium* di Tiap Unit Pengolahan PDAM Nogotirto

identifikasi dilakukan secara manual untuk mengetahui jenis-jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam sampel. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40x-100x dan phase contrast 1-4. Kejelasan morfologi *Cryptosporidium* pada gambar mikroskop akan memudahkan identifikasi keberadaan protozoa. Bentuk morfologi dari *Cryptosporidium* sendiri cukup sederhana dibandingkan protozoa lain karena tidak memiliki ciri khusus seperti flagella atau pseudopodia. Adapun ciri-ciri morfologi *Cryptosporidium* sebagai berikut :

1. Bentuk

Bentuk dari semua spesies *Cryptosporidium* memiliki bentuk *oocyst* yang sama yaitu bentuk bulat atau ovoid (oval)

2. Ukuran

Ukuran dari *oocyst Cryptosporidium* sangat kecil dengan diameter rata-rata sekitar 5-7 μm

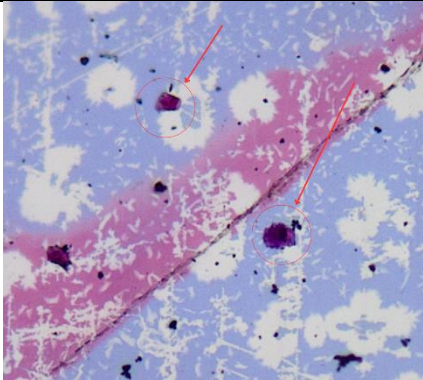
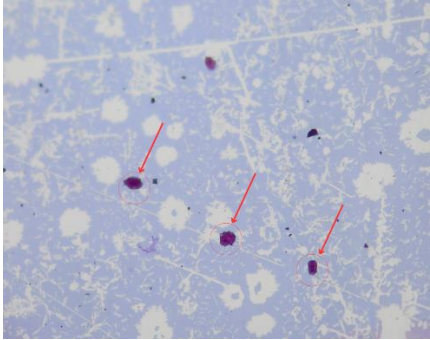
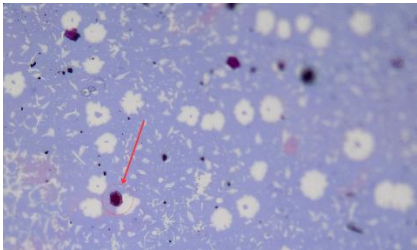
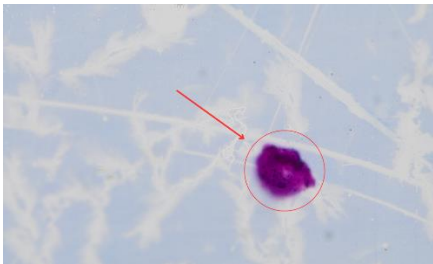
3. Struktur

Struktur dari *oocyst Cryptosporidium* yaitu sangat resisten terhadap lingkungan sehingga memiliki dinding tebal berfungsi sebagai pelindung parasit hingga masuk ke inangnya. *Oocyst* mengandung empat sporozoit yang akan dilepaskan saat berada di dalam saluran inangnya seperti usus ataupun pencernaan

Dalam melakukan klasifikasi spesies *Cryptosporidium* tidak hanya dapat dilakukan berdasarkan perbedaan bentuk morfologi dengan menggunakan mikroskop. Diperlukan analisis lebih lanjut dan akurat untuk mengetahui spesies *Cryptosporidium* bisa dengan analisis genetik untuk identifikasi seperti PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Berikut merupakan hasil penelitian yang dilakukan pengamatan *Cryptosporidium* dengan mikroskop pada Sumber Air Baku (dw I), Sumber Air Baku (dw II), Bak Reservoir, dan Pipa Distribusi PDAM Nogotirto:

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan *Cryptosporidium*

Referensi			
			
Sumber : (Sharifuzzaman, et al., 2015)			
No	Sumber	Hasil	Keterangan
1	Sumber Air Baku (dw I)		Sampel air baku (dw I) dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.

			
2	Sumber Air Baku (dw II)		Sampel air baku (dw II) dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.
3	Bak Reservoir		Sampel air Bak Reservoir dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.
4	Pipa Pelanggan		Sampel air Pipa pelanggan dibawah mikroskop perbesaran 100x dan fase kontras 1-4.

4.1.3 Hasil Pengamatan Protozoa *Giardia Lamblia* di Tiap Unit Pengolahan PDAM Nogotirto

Identifikasi dilakukan secara manual untuk mengetahui jenis-jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam sampel. Pengamatan dilakukan

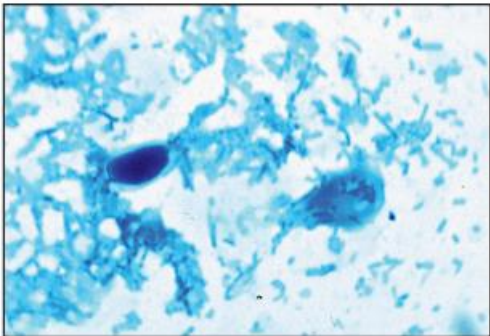
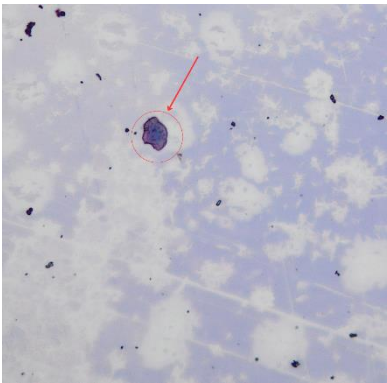
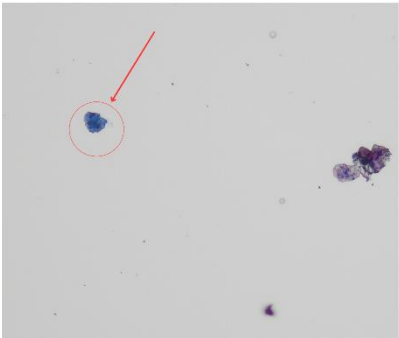
menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40x dan phase contrast 1-4. Kejelasan morfologi *Giardia Lamblia* pada gambar mikroskop akan memudahkan identifikasi keberadaan protoza. Bentuk morfologi dari *Giardia lamblia* terbagi menjadi dua jenis utama yaitu tropozoit dan kista. Adapun perbedaan jenis morfologi dari *Giardia lamblia* adalah sebagai berikut:

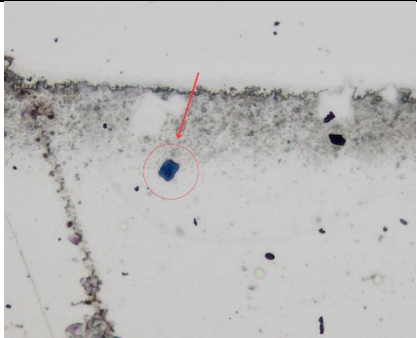
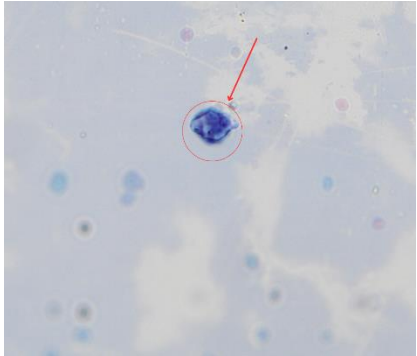
1. Tropozoit
 - a. Bentuk : Tropozoit sendiri memiliki bentuk menyerupai buah pir dengan simetri bilateral
 - b. Ukuran : Pada bentuk Tropozoit ukuran simetri bilateral berukuran panjang 9-21 μm dan lebar 7-10 μm
 - c. Struktur : Tropozoit memiliki 2 inti nukleus dan 4 pasang flagela untuk membantu gerak dan tropozoit memiliki struktur seperti *capping disk* atau *sucker disk* agar melekat pada dinding usus inang.
2. Kista
 - a. Bentuk : Kista sendiri berbentuk oval yang ditutupi oleh dinding tebal dan pelindung
 - b. Ukuran : Kista berukuran lebih kecil dibandingkan bentuk tropozoit dengan ukuran 8-12 μm
 - c. Struktur : Kista memiliki struktur bentuk terdiri dari 4 inti yang menunjukkan bahwa bentuk ini infeksius dan tidak bergerak serta lebih tahan pada lingkungan karena tidak terpengaruhi oleh suhu dan perubahan pH

Dalam melakukan klasifikasi spesies *Giardia lamblia* tidak terdapat jenis morfologi yang berbeda dari setiap spesiesnya. Tetapi dari perbedaan kedua bentuk morfologi seperti tropozoit dan kista memiliki perbedaan signifikan dimana pada sampel yang diteliti berasal dari air merujuk pada jenis kista. Bentuk kista ini sering ditemukan ada pada lingkungan eksternal termasuk pada saat tahapan klorinasi air. Bentuk *Giardia lamblia* kista dapat ditemukan pada lingkungan luar seperti air dan tanah. Berikut merupakan hasil penelitian yang dilakukan pengamatan *Giardia lamblia* dengan mikroskop pada Sumber

Air Baku (dw I), Sumber Air Baku (dw II), Bak Reservoir, dan Pipa Distribusi PDAM Nogotirto:

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan *Giardia Lamblia*

Referensi			
 Sumber : (J.Harrington, 2008)			
No	Sumber	Hasil	Keterangan
1	Sumber Air Baku (dw I)		Sampel air baku (dw I) dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.
2	Sumber Air Baku (dw II)		Sampel air baku (dw II) dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.
3	Bak Reservoir		Sampel air Bak

			Reservoir dibawah mikroskop perbesaran 40x dan fase kontras 1-4.
4	Pipa Pelanggan		Sampel air Pipa pelanggan dibawah mikroskop perbesaran 100x dan fase kontras 1-4.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Kondisi Lingkungan dan Sanitasi pada Lokasi PDAM Unit Nogotirto

Kondisi sanitasi sekitar wilayah penelitian menjadi salah satu faktor dari penyebaran mikroorganisme parasit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Penyebaran tersebut dapat berasal dari mikroorganisme parasit yang berasal dari feses atau tinja manusia dan hewan yang mencemari sumber air akibat kondisi sanitasi yang buruk. Wilayah penelitian PDAM Nogotirto berdekatan dengan rumah pelanggan. Sebanyak 1.650 (SR) saat ini dilayani oleh PDAM Nogotirto. Jarak perumahan cukup berdekaran dengan sumur mata air baku yang digunakan oleh PDAM Nogotirto. Reservoir dari mikroorganisme parasit adalah manusia, hewan liar, dan hewan peliharaan. Sehingga kondisi wilayah

yang berdekatan dengan wilayah padat penduduk dan hewan liar menjadi salah satu faktor penularan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*.

Sanitasi dan kesehatan lingkungan memiliki keterkaitan terhadap dampak tercemarnya kondisi sanitasi sumber air minum. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah jarak septic tank dan IPA PDAM Nogotirto. Pada wilayah penelitian memenuhi syarat jarak minimal yaitu sekitar 10 meter. Menurut Data Badan Pusat Statistik Provinsi di Yogyakarta khususnya pada wilayah Sleman jumlah rumah tangga yang memiliki akses sanitasi layak berjumlah 97,42 %. Reservoir dari mikroorganisme parasit adalah manusia, hewan liar, dan hewan peliharaan.

4.2.2 Analisis Faktor Sumber Air Pada PDAM Unit Nogotirto

Pada penelitian ini identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dilakukan pada air dari PDAM Nogotirto. Air merupakan salah satu sumber kontaminasi dari kedua mikroorganisme tersebut. Kontaminasi pada air dapat berasal dari sumber feces manusia atau hewan yang terinfeksi parasit seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Pengujian identifikasi ini dilakukan dengan mengamati sampel air di bawah cahaya mikroskop. Sampel yang diamati sebelumnya sudah dilakukan pewarnaan menggunakan metode *ziehl neelsen* untuk mendeteksi *oocyst Cryptosporidium* dan *cyst Giardia lamblia*.

Kualitas air minum pada pengolahan IPA PDAM Nogotirto dapat menunjukkan faktor dari keberadaan mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Uji Kualitas air pengolahan IPA PDAM Nogotirto dilakukan sesuai dengan standar baku mutu seperti :

1. Parameter Fisika seperti bau, warna, TDS, TSS, suhu, pH
2. Parameter Mikrobiologi seperti E.Coli dan Total Coliform
3. Parameter Kimia seperti Fe, Sisa khlor, dan Mangan

Nilai kekeruhan tinggi dapat mempengaruhi peningkatan jumlah *Cryptosporidium* pada perairan akibat air limpasan dan curah hujan. Selain itu nilai pH yang tinggi bersifat netral dan alkali pada angka 7-8 memungkinkan

biota akuatik hidup salah satunya adalah *oocyst Cryptosporidium* pada sumber air.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kualitas Air PDAM Nogotirto

No	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu	Sumber Air Baku	Reservoir	Pipa Pelanggan
Fisika						
1	Bau	-	0,2	Tidak berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Warna	TCU	10	10	10	15
3	TDS	Mg/l	300	281	268	287
4	Suhu	°C	3°C	27,6	22,5	22,5
5	TSS	NTU	≤ 3	1,81	1,63	1,76
Mikrobiologi						
6	E.Coli	Jml per 100 ml sampel	0	0	0	0
7	Total Coliform	Jml per 100 ml sampel	0	0	0	0
Kimia						
8	Fe	Mg/l	0,2	0,13	0	0,06
9	Mangan	Mg/l	0,1	0,3	0,1	0,1
10	Sisa Chlor	Mg/l	0,2	-	0,8	0,2
11	pH	-	6,5-8,5	7,7	7,6	7,8

Sumber : Hasil Uji Kualitas Air Intern PDAM Sleman Unit Nogotirto Bulan September 2024

Pada hasil uji kualitas air PDAM Nogotirto dapat dilihat kadar kekeruhan yang cukup tinggi sekitar 1,6-1,8 NTU menjadi salah satu kemungkinan nilai kekeruhan mempengaruhi peningkatan jumlah *oocyst Cryptosporidium* di air PDAM Nogotirto. Nilai kadar pH pada hasil uji kualitas air berada pada angka 7,6-7,8 menunjukkan pH kualitas air PDAM Nogotirto bersifat alkali. Nilai pH yang tinggi dan bersifat alkali memungkinkan *oocyst Cryptosporidium* dapat hidup pada sumber air di PDAM Nogotirto.

disinfeksi menggunakan khlor. Khlorinasi yang digunakan sesuai arahan dari PDAM pusat Sleman dan PERMENKES yaitu selama 1 x 24 jam

khlorinasi yang digunakan adalah sebanyak 6 kg dengan pemberian khlorin berupa kalsium hipoklorit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* tahan terhadap desinfektan kimia termasuk khlorin yang digunakan untuk menjernihkan dan desinfeksi air minum. *Giardia lamblia* berbentuk kista memiliki 4 inti yang menunjukkan bahwa protozoa ini infeksius untuk menyebabkan infeksi serta tahan terhadap lingkungan karena tidak terpengaruh suhu dan pH. *Cryptosporidium* yaitu sangat resisten terhadap lingkungan sehingga memiliki dinding tebal berfungsi sebagai pelindung parasit hingga masuk ke inangnya. Hal ini dapat membuat protozoa kebal terhadap zat kimia seperti khlorin yang digunakan dalam disinfeksi pengolahan PDAM Nogotirto.

Sumber air baku dari PDAM unit Nogotirto berasal dari air tanah dari sumur galian. Mikroorganisme seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dapat berada pada air tanah karena parasit ini dapat bereproduksi di luar tubuh inang dalam kondisi yang mendukung. Meskipun ookista seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* lebih jarang ditemukan di Air tanah dibandingkan di air permukaan. EPA telah melakukan pengujian pada mata air telah ditemukan kontaminasi dari mikroorganisme seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Air tanah sering dianggap sebagai sumber air yang lebih aman dibandingkan air permukaan tetapi ada risiko kontaminasi berasal dari jenis sumber air tanah, tingkat perlindungan, atau kondisi infrastrukturnya. Kontaminasi air tanah membutuhkan pergerakan ookista melalui tanah menuju reservoir air bawah tanah. Beberapa kondisi dapat terjadinya transportasi ookista yaitu :

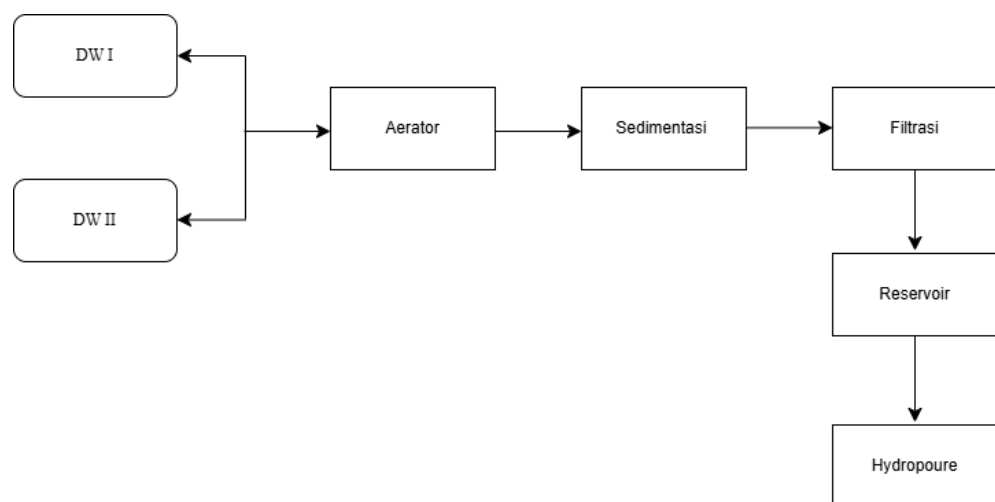
1. Bocoran dari sumur yang rusak
2. Transportasi melalui tanah seperti kehadiran makropori merupakan retakan besar atau saluran tanah
3. Terdapat penelitian kolom tanah menunjukkan bahwa ookista dapat menembus hingga kedalaman 50 cm pada tanah

Kontaminasi pada air tanah dapat terjadi melalui beberapa faktor lingkungan seperti kondisi tanah, keberadaan makropori, dan aktivitas manusia

serta hewan di wilayah tersebut. Pengelolaan tepat pada PDAM unit Nogotirto dan pemantuan kualitas air untuk mengurangi risiko yang ada.

4.2.3 Analisis Kondisi Pengolahan Air Pada PDAM Unit Nogotirto

. Sistem Instalasi Pengolahan Air yang digunakan masih sederhana dengan menyambungkan pengolahan menggunakan pipa transmisi yang dialirkan pada unit bak sedimentasi yang terdiri dari beberapa kompartemen dan filtrasi menggunakan teknik sand filter. Setelah melewati proses tersebut untuk mendapatkan air bersih kemudian akan dilakukan disinfeksi menggunakan khlor. Berikut merupakan diagram alir pengolahan air pada PDAM Unit Nogotirto :



Gambar 4.2 Alur Pengelolaan PDAM Unit Nogotirto
Sumber : Bagan Alir Pengelolaan di PDAM Unit Nogotirto

1. Deepwell

Deep well merupakan sumur bor untuk mengambil sumber air dari lapisan aquifer di bawah tanah. Kedalaman umum berkisar 150-300 meter tetapi pada PDAM Nogotirto kedalaman sumur hanya sekitar

80 meter. Kedalaman sumur dapat berbeda-beda tergantung pada kondisi hidrogeologi dan izin dari Dinas Pemerintahan tempat pembangunan PDAM. Penggunaan *Deep well* lebih menguntungkan dibandingkan sumur dangkal karena memiliki ketersediaan air lebih banyak serta menghindari lapisan akifer yang mengandung air asin maupun payau.

Kualitas sumber air baku pada PDAM Nogotirto memiliki pH tinggi sekitar 7,6-7,8 menunjukkan pH kualitas air bersifat alkali. Kondisi air yang bersifat alkali memungkinkan *Cryptosporidium* dapat hidup pada sumber air karena keberlangsungan hidup *oocyst* pada pH tersebut akan cenderung stabil. *Cryptosporidium* dapat ditemukan pada sumber air tanah terutama pada daerah yang berpengaruh dengan air permukaan yang tidak terlindungi dengan baik dari kontaminasi permukaan. Lokasi pengelolaan air minum pada PDAM Nogotirto bersebelahan dengan lintasan sungai Bedog yang dapat menimbulkan risiko pengaruh berdekatan dengan sumber air permukaan yang tak terlindungan dan karakteristik dari akuifer sumber air tanah.

2. Aerator

penambahan udara atau oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat sehingga air yang beroksigen rendah kontak dengan oksigen atau udara. Aerasi termasuk pengolahan fisika karena mengutamakan unsur mekanisasi dari pada unsur biologi. Aerasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Meningkatnya oksigen akan memudahkan zat seperti hidrogen sulfide dan metana menguap karena zat-zat tersebut dapat mempengaruhi rasa dan bau, mengurangi kandungan karbondioksida, dan mineral terlarut seperti besi dan mangan akan teroksidasi membentuk endapan yang kemudian akan dihilangkan pada proses sedimentasi dan filtrasi.

Penambahan kandungan oksigen dalam air menggunakan proses aerasi yang dilakukan pada pengelolaan PDAM Nogotirto

dilakukan untuk mengoksidasi mineral terlarut seperti kadar besi (Fe) dan mangan. Kadar Fe dan mangan pada PDAM Nogotirto berdasarkan sumber air bakunya dengan nilai kandungan mangan 0,3 mg/l dan Fe 0,13 mg/l. Pada pengolahan ini Fe dan mangan akan teroksidasi dan membentuk endapan agar dapat dihilangkan pada proses selanjutnya di sedimentasi dan filtrasi. *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* merupakan parasit yang hidup pada inangnya berupa usus dengan kadar oksigen sedikit sehingga menjadikan mikroorganisme ini memiliki sifat anaerob fakultatif. Akan tetapi apabila *oocyst Cryptosporidium* dan *cyst Giardia lamblia* sudah keluar dari inangnya dan berada di lingkungan dapat menyesuaikan pada kondisi lingkungan tinggi oksigen. Anaerob fakultatif merupakan kemampuan suatu bakteri atau mikroorganisme untuk tumbuh secara oksidatif dan anaerob. Sehingga pada proses aerasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* tetap akan tahan di lingkungan kadar oksigen tinggi karena struktur dinding kista yang tebal.

3. Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses fisik untuk memisahkan partikel suspensi di dalam air dengan pengaruh gaya gravitasi. Proses ini dilakukan pengendapan untuk melakukan pengolahan lanjutan dari pengolahan sebelumnya. Dalam pengolahan air minum sedimentasi dilakukan pada sumber air baku yang memiliki kekeruhan (turbiditas) tertentu. Sedimentasi membantu secara fisik agar kualitas air tidak berwarna dan terlihat jernih secara kasat mata. proses pengendapan pada pengelolaan PDAM Nogotirto termasuk sederhana dengan beberapa kompartemen untuk pengolahan lebih lanjut setelah pengolahan untuk menurunkan besi dan mangan.

Protozoa seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam proses sedimentasi konvensional dapat mengendap karena ukurannya kecil apabila proses ini dikombinasi dengan pengelolaan koagulasi. Pada PDAM Nogotirto pengelolaan air dilaksanakan secara sederhana

sehingga dari sistem aerasi pengolahan dilanjutkan dengan sedimentasi. Pengelolaan ini tidak cukup untuk menghilangkan keseluruhan protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* karena oocyst kuat dan tetap hidup dalam lumpur yang mengendap dan air sisa.

4. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari cairan dengan melewatkan air yang diolah melalui media berpori. Tujuan dari proses ini untuk menghilangkan partikel-partikel yang halus. Proses filtrasi dilakukan setelah pengolahan sedimentasi agar partikel tersuspensi tertahan pada bak filtrasi dengan bantuan media pada proses ini. Media yang digunakan pada proses filtrasi PDAM Nogotirto menggunakan saringan pasir yang mempunyai pori-pori cukup kecil. Partikel yang mempunyai ukuran butir lebih besar akan tertahan pada ruangan antar pasir media.

Pada PDAM Nogotirto proses filtrasi dilakukan menggunakan *Slow Sand Filtration*. Suspensi yang terdapat dari air mengandung mikroorganisme tertentu akan membentuk lapisan diatas media filter disebut lapisan lendir. Adanya lapisan ini mikroorganisme yang terdapat dalam air akan berdiam disana sehingga air terjadi filtrat dan mengurangi kandungan mikroorganisme. Pada *Slow Sand Filtration* efisiensi penghilangan pada mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* tergantung pada ukuran butiran pasir, keseragaman, serta pre-treatment yang tepat. Ukuran butiran pasir pada $D_{10} \leq 0,2$ mm dapat meningkatkan kinerja penyaringan. Ukuran pasir pada slow sand filtration dapat menyaring bakteri dengan ukuran partikel kecil seperti bakteri *Escherichia coli* yaitu pada angka 2-6 mm. Pada mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* memiliki ukuran rata-rata lebih besar dibandingkan bakteri coliform seperti *E.coli* dengan ukuran 5-7 mm untuk *Cryptosporidium* dan 8-12 mm untuk *Giardia lamblia*. Pengelolaan filtrasi membantuk menyaring suspended solid dan bakteri pada permukaan pasir. Proses penyaringan merupakan

kombinasi antara proses fisik, proses biokimia, dan proses biologis. Pada Hasil penelitian pada unit reservoir masih dapat ditemukan keberadaan parasit *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* karena terdapat kondisi tidak optimal dari pengolahan *Slow Sand Filtration*.

5. Reservoir

Reservoir menjadi tempat untuk menampung air sebelum dilakukan proses distribusi kepada pipa pelanggan. Pada pengolahan air PDAM Nogotirto reservoir menjadi tempat injeksi disinfeksi menggunakan khlor. Khlorinasi yang digunakan sesuai arahan dari PDAM pusat Sleman dan PERMENKES yaitu pemberian bubuk khlorin berupa kalsium hipoklorit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ sebanyak 6 kg pada rentan waktu 1 x 24 jam khlorinasi. Parasit seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* sangat resisten terhadap desinfektan kimia untuk menjernihkan dan desinfeksi air minum.

Pencemaran air minum oleh virus, bakteri, patogen, dan parasit dapat terjadi pada sumber air baku atau kurang efektifnya pengolahan hingga konsumen. Desinfeksi diperlukan untuk memusnahkan mikroorganisme penyebab penyakit termasuk protozoa. Khlorinasi merupakan salah satu proses yang dipilih untuk desinfeksi pada pengolahan PDAM Nogotirto. Khlorinasi merupakan proses pemusnahan patogen dan parasit yang dapat membantu dalam penurunan penyakit akibat konsumsi air dan makanan. Pengaruh inaktivitasi mikroorganisme patogen oleh senyawa disinfektan dipengaruhi oleh waktu kontak dan konsentrasi disinfektan. *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* tahan terhadap disinfektan kimia termasuk khlorin yang digunakan untuk menjernihkan dan desinfeksi air minum. *Giardia lamblia* berbentuk kista memiliki 4 inti yang menunjukkan bahwa protozoa ini infeksius untuk menyebabkan infeksi serta tahan terhadap lingkungan karena tidak terpengaruhi suhu dan pH. *Cryptosporidium* yaitu sangat resisten terhadap lingkungan sehingga memiliki dinding tebal berfungsi sebagai pelindung parasit

hingga masuk ke inangnya. Hal ini dapat membuat protozoa kebal terhadap zat kimia seperti khlorin yang digunakan dalam disinfeksi pengolahan PDAM Nogotirto.

6. Hydrophore

Unit hydrophore merupakan perangkat yang berfungsi sebagai sistem peningkatan tekanan air pada jaringan distribusi air minum. Pengelolaan air minum menggunakan hydrophore untuk memastikan ketersediaan air pada area pelayanan dengan tekanan yang sesuai. Sistem Hydrophore terdiri dari pompa berfungsi memompa air ke dalam tangki tekanan, Tangki tekanan berisi membran atau udara terkompresi berfungsi menahan tekanan dan pressure switch berfungsi mengontrol operasi pompa sesuai tekanan yang terdeteksi. Pada sistem hydrophore domestik tekanan yang digunakan sekitar 2-6 bar (200-600 kPa) yang cukup untuk memastikan pasokan air yang stabil pada kebutuhan rumah tangga atau bangunan kecil seperti PDAM Nogotirto. Tekanan tinggi pada pompa di hydrophore tidak dapat menghancurkan oosista seperti pengolahan air dengan tekanan tinggi High Pressure Processing (HPP). Oleh karena itu, pada unit ini memompa air untuk distribusi air masih ditemukan keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* pada sumber pipa pelanggan.

Berdasarkan pemilihan teknologi pengolahan air PDAM unit nogotirto untuk menghilangkan protozoa seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* diperlukan pemilihan media filter yang tepat. Media filtrasi dengan ukuran pori dan jenis media filtrasi yang tepat dapat membantu efektifitas penyaringan mikroorganisme seperti protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Mikroorganisme ini memiliki inti sel berbeda dengan bakteri yang tidak memiliki inti sel. Hal ini mempengaruhi ukuran dari mikroorganisme sehingga bakteri memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan protozoa.

Pada pengelolaan air minum untuk menghilangkan mikroorganisme Pengelolaan untuk protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

berdasarkan penerapan yang dilakukan oleh U.S EPA dapat memperhatikan beberapa hal yaitu:

1. Sistem Perlindungan Sumber Air

Sistem perlindungan sumber air dapat dilakukan dengan penilaian risiko sumber air dengan mengidentifikasi sumber air dari pencemaran dan mengelola daerah resapan sumber air dari bahaya risiko kontaminasi.

2. Teknologi Pengolahan Air

Pada pengelolaan untuk menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* lebih efektif dengan menggabungkan pengolahan filtrasi dan disinfeksi. Filtrasi yang digunakan memerhatikan efisiensi pada media saring sesuai dengan ukuran mikroorganisme. Teknologi filtrasi yang dapat digunakan adalah Membran Filtrasi dengan pori-pori kecil yang ukuran $\leq 1\mu\text{m}$ untuk menyaring protozoa dengan tingkat efisien tinggi. Pengolahan filtrasi dapat dilanjutkan dengan penambahan disinfeksi menggunakan UV *disinfection* dengan tetap menggunakan kloramin untuk melindungi kualitas air minum

3. Penetapan Standar dan Regulasi

Penetapan standar pada sistem pengolahan air minum untuk menghilangkan mikroorganisme seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

4. Pemantauan Kandungan Protozoa

Pemantuan sistem pengolahan air minum untuk mendeteksi keberadaan protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dan analisis menggunakan kandungan protozoa dengan metode IFA (*immunofluorescent assay*)

5. Penanganan Pasca-Treatment

Perawatan pada sistem distribusi untuk mencegah adanya kontaminasi selama transportasi air dengan menjaga tekanan dalam pipa distribusi

4.2.4 Analisis Kebutuhan Parameter Mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* dalam Standar Kualitas Air Minum

Penerapan parameter Standar Kualitas Air Minum umumnya mengacu pada standar dari organisasi kesehatan dunia (WHO). Terjadinya penambahan parameter tambahan dapat dilakukan sesuai dengan kondisi lingkungan di suatu negara atau daerah lainnya. Perbedaan parameter mikroorganisme pada penelitian ini membandingkan standar kualitas air minum di Indonesia dengan United States (EPA). Parameter yang diuji adalah parameter mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Parameter mikroorganisme yang perlu diawasi pada standar kualitas air minum rata-rata saat ini fokus kepada total koliform karena relatif mudah untuk dibiakkan pada penelitian lebih lanjut di laboratorium untuk menjadi indikator bakteri penyebab penyakit untuk kelayakan air minum.

Pada peraturan standar kualitas air minum Indonesia parameter mikroorganisme yang diatur adalah total coliform dan E.coli yang merupakan standar kualitas air minum perlu diawasi menurut standar dari organisasi kesehatan dunia (WHO). Adapun peraturan parameter mikroorganisme setiap negara dapat berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan dan karakteristik air suatu negara. Contoh seperti negara United States pada standart EPA terdapat penambahan beberapa mikroorganisme lainnya seperti *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Mikroorganisme ini memiliki kesamaan dengan E.coli dan total coliform yang menginfeksi intestinal dengan lokasi agen penyebab di usus dan ditribusi di lingkungan melalui kotoran. Beberapa negara yang juga menambahkan parameter mikroorganisme yang menginfeksi intestinal seperti pada negara Malaysia terdapat penambahan *Faecal streptococci*, protozoa, *Helminths*, dan *Clostridium perfringens*. Hal ini dapat menjadi perhatian untuk penambahan parameter yang harus diperhatikan dalam melihat mikroorganisme dalam menjamin mutu kualitas air minum.

Pada standar yang berlaku di EPA melakukan penambahan parameter yang diatur untuk mengidentifikasi beberapa kontaminan tambahan dilakukan penyelidikan lebih lanjut. Seperti contoh kasus pada *Cryptosporidium* dan

Giardia lamblia wabah penyakit ditularkan melalui air telah dilaporkan di Amerika Serikat pada tahun 1993 dan menyebabkan sekitar 400.000 terinfeksi. Kekhawatiran kesehatan masyarakat akibat *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* yang tahan terhadap metode disinfeksi air konvensional seperti klorinasi dan dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia dan penelitian pada peningkatan teknologi deteksi dibutuhkan untuk mengurangi risiko kesehatan akibat patogen ini. Informasi terkait penyakit kriptosporidiosis dan giardiasis di Indonesia memang masih sangat terbatas dibandingkan Amerika Serikat tetapi diketahui sejak awal tahun 2004 terus terjadi peningkatan pada pasien Diare, HIV/AIDS, dan tuberkulosis di Indonesia yang terinfeksi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Penyakit ini terus meningkat pada pasien penderita HIV/AIDS yang memiliki gejala diare menurut kasus yang tercatat salah satunya ada di RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta sudah ada sejak 2009 dari 26 pasien setidaknya 60,9% terkena infeksi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*. Maka penelitian dan peningkatan teknologi sangat dibutuhkan untuk mengurangi risiko kesehatan akibat patogen *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* meskipun pemantauan keberadaan organisme ini menurut EPA masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kontaminasi dan air serta perlu sistem laboratorium yang cukup mahal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu Identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* menggunakan metode ziehl nelsen pada PDAM Nogotirto, Trihanggo, Kec. Gamping, Kabupaten Sleman dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan sesuai dengan pedoman pengamatan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* adalah metode pewarnaan modifikasi *ziehl neelsen* menggunakan pewarnaan terhadap bakteri tahan asam dan pengamatan melalui mikroskop dapat terlihat dengan jelas mikroorganisme target dan morfologinya masih bisa terlihat jelas sehingga identifikasi dapat dilakukan
2. Mikroorganisme target dapat ditemukan berdasarkan pengelihan morfologi yang jelas sehingga identifikasi dapat dilanjutkan melihat analisis faktor keberadaan mikroorganisme melalui data uji sumber air menunjukkan keterkaitan jumlah TSS yang tinggi sekitar 220-230 NTU serta kadar pH yang bersifat alkali sekitar 7,7-7,8 menunjukkan korelasi terhadap pengaruh parameter tersebut terhadap keberadaan mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*, musim hujan dan faktor lingkungan, serta kondisi sanitasi wilayah penelitian mengindikasikan bahwa terdapat keberadaan mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian “ Identifikasi Protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia Lamblia* pada PDAM Sleman Unit Nogotito Melalui Metode Ziehl Neelsen” adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi spesies dan morfologi secara mendalam agar data yang dihasilkan lebih akurat
2. Perlu adanya perhitungan indeks *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* agar mengetahui lebih lanjut tentang pengaruh jumlah dan variasi mikroorganisme pada sumber air PDAM Nogotirto
3. Perlu adanya perbedaan waktu dan musim untuk membandingkan keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* berdasarkan faktor musim dan jam pengolahan
4. Perlu adanya penambahan skala ukuran pada gambar hasil mikroskop dari identifikasi mikroorganisme *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*
5. Melalui obeservasi dan analisis yang dilakukan keberadaan *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia* teridentifikasi pada sampel sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut pada IPA PDAM Nogotirto.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningtyas, I., 2020. *Bakteri Anaerob*, s.l.: FK UII.
- Agustini, S., 2017. Harmonisasi Standar Nasional (SNI) Air Minum Dalam Kemasan dan Standar Internasional. *Majalah Teknologi Agro Industri*, pp. 31-32.
- Anane, S., 2011. Cryptosporidiosis From Epidemiology to Treatment. In: *Microbes, Viruses and Parasites in AIDS Process*. Tunisia: University of Tunis El Manar, p. 14.
- Benny Syahputra, S., Ir.H Soedarsono, M. & Hj. Hermin Poedjiastoeti, M., 2022. Sedimentasi. In: *Perancangan Bangunan Pengolahan Air Minum*. s.l.: Universitas Islam Sultan Agung, pp. 130-131.
- C.Nieminski, E. & E.Ongerth, J., 1995. Removing Giardia and Cryptosporidium By Conventional Treatment and Direct Filtration. *Journal AWWA*, 87(9), pp. 96-106.
- dr.Rudy Joegijantoro, M., 2019. *Penyakit Infeksi*. 1st ed. Malang: Intimedia.
- Environment Clime Change and Health (ECH), 2024. *Water Sanitation, Hygiene and Health (WSH)*. [Online] Available at: <https://www.whp.int/publications/i/items/97089240088740>
- Environmental Protection Agency United States, 2024. *EPA*. [Online] Available at: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Ghoshal, U. & Dey, A., 2013. *Human Cryptosporidiosis and Drink Water: Looking Beyond HIV*. s.l.:s.n.
- Harun, H., Sennang, N. & dkk, 2019. Giardiasis. *Healthy Tadulako Journal*, pp. 1-80.
- Harun, H., Sennang, N. & Rusli, B., 2019. GIARDIASIS. *Jurnal Kesehatan Tadulako*, 5(3), pp. 1-80.
- Herdiasa, A., 2023. *Standar Air Bersih: Pentingnya Menjaga Kualitas Air yang Kita Konsumsi*. [Online] Available at: <https://pdaminfo.pdampintar.id/blog/lainnya/standar-air-bersih-pentingnya-menjaga-kualitas-air-yang-kita-konsumsi#:~:text=Standar%20Air%20Bersih%20bertujuan%20untuk,yang%20disebabkan%20oleh%20kegiatan%20manusia.>
- J.Buffer, M.Williams, L.Medeiros & J.LeJeune, 2012. Parasites; Cryptosporidium parvum, Clostridia, and Giardia Lamblia. *Ohio State Univesity Extension*.
- J.Harrington, B., 2008. Microscope of 4 pathogenic enteric protozoan parasites : A review. *Laboratory Medicine*, pp. 231-238.
- K.D.Kidul, 2019. Mengenai Bakteri Coliform dan Air Bersih. *Seri Kesehatan Lingkungan*.

Kementerian Kesehatan , 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 tahun 2023*. [Online].

Kumar, T., Majid, M. A. A., Onichandran, S. & Jaturas, N., 2016. Presence of cryptosporidium parvum and giardia lamblia in water samples from southeast asia: towards an integrated detection system. *Infectious diseases of pverty*.

maryani, D., Masduqi, a. & Moesriati, A., 2014. Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2), pp. 77-81.

Maryanti, E., 2011. Epidemiologi Kriptosporidiosis. *JIK*, pp. 1-6.

Maryanti, E., 2011. Epidemiologi Kriptosporidiosis. *Jurnal ilmu kedokteran*.

Maryanti, E., 2017. Epidemiologi Kriptosporidiosis. *Jurnal Ilmu Kedokteran*, pp. 1-6.

Mohseni, A. M., 2016. *Surrogates for Validation of Pathogen Removal Using Membranes in Water Treatment*, Melbourne: School of Civil,Envirinmental and Chemical Engineering.

Nufutomo, T. K. & Muntalit, B. S., 2017. Cryptosporidium sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus:Hulu Sungai Citarum,Kabupaten Bandung). *Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 14(2), pp. 45-53.

Nugraha, J., Rahmawati, F. & Husada, D., 2011. Identifikasi Kriptosporidiosis Di Pasien Anak HIV Dengan Diare Kronis Di Ruang Gastro Anak. *Indonesian Journal of Clinical Pathology and Medical laboratory* , 18(1).

Petersen, H. H. et al., 2012. Transport of Cryptosporidium parvum Oocysts in Soil Columns Following Application of Raw and Separated Liquid Slurries. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(17), pp. 5999-6000.

Q.Betancourt, W. & B.Rose, J., 2004. *Drinking water treatment process for removal of Cryptosporidium and Giardia*, Michigan: s.n.

R, F. J. & Agustiningtyas, I., 2021. *Pengecatan Ziehl Neelsen*. [Online] Available at: <https://fk.uui.ac.id/mikrobiologi/materi/pengecatan-ziehl-neelsen-zn/>

Said, N. I., 2007. Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *JAI*, 3(15-28).

Said, N. I. & Marsidi, R., 2005. Mikroorganisme Patogen dan parasit Di Dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Teknologi Pengolahan. *JAI*, 1(1).

Said, N. I. & Marsidi, R., 2005. Mikroorganisme Patogen dan Parasit di dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Teknologi Pengolahan. *Mikroorganisme Patogen dan Parasit*.

Sarwenda, Y., Oktarianita, M.Amin & Wati, N., 2022. Analisis Proses Pengolahan Air Minum Pada Perusahaan Daerah AIr Minum Desa Cahaya Negeri. *Jurnak Kesehatan Lingkungan* , pp. 7-14.

Sharifuzzaman, et al., 2015. Isolation and identifiacion of Cryptosporidium from water sampels in bangladesh. *international journal of natural and social sciences*, pp. 118-124.

Shinta, N., Sembiring, R. D. & Pinem, D. E., 2023. Analisis Kebutuhan Air Bersih Di Kawasan Permukiman Desa Blang Kolak I Kecamatan Bebesen Kabupaten Aceh Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi UTP*, 20(1), pp. 54-60.

UK Neqas PHE National Parasitology Reference Laboratory, 2020. *Modified ziehl neelsen*, London: s.n.

Wakid, M. H. & Shalaby, N. M., 2014. Giardiasis. *JKAU:Med.Sci*, January, 21(1), pp. 87-100.

Wardhana, A. h., 2017. Giardia Intestinalis Assemblage E as an Emerging Zoonosis in Livestock. *Indonesia Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, Volume 27.

Widya Utami, S., Fakhry Muhammad, S. & Nurlaila, S., 2022. *Laporan Tahunan Pengamanan Kualitas Air Minum*, s.l.: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Wijayanti, T., 2017. Kriptosporidiosis di Indonesia. *BALABA Jurnal Litbang Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Banjarnegara*.

Wijayanti, T., 2017. *Kriptosporidiosis di Indonesia*, Banjarnegara: s.n.

Yuniarti, D. P., Komala, R. & Aziz, S., 2019. *Pengaruh Proses Aerasi Terhadap pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di PTPN VII Secara Aerobik*, Palembang: s.n.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

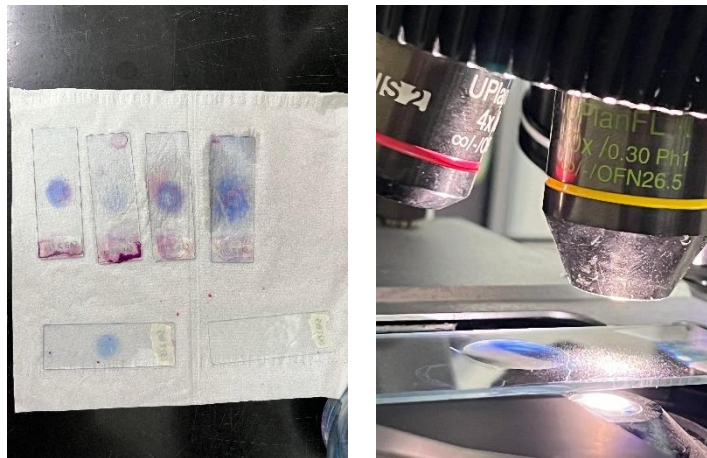
Lampiran 1. Kegiatan Pengambilan dan Pengamatan Sampel



Pengambilan Sampel Air PDAM

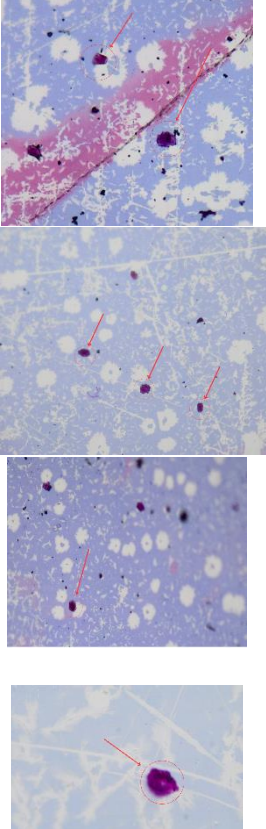
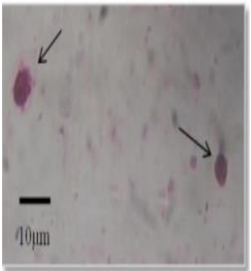


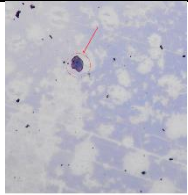
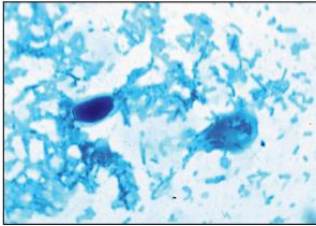
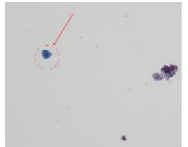
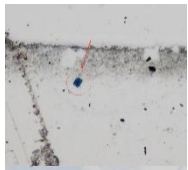
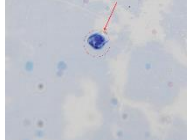
Pengecatan Sampel Menggunakan Ziehl Neelsen



Pengamatan Sampel Protozoa dengan Mikroskop

Lampiran 2. Identifikasi *Cryptosporidium* dan *Giardia lamblia*

Nama Organisme	Sumber Literasi	Gambar Hasil Pengamatan Mikroskop	Gambar Literatur
<i>Cryptosporidium</i>	(UK Neqas PHE National Parasitology Reference Laboratory, 2020)		

<i>Giardia lamblia</i>	(J.Harrington, 2008)		
			
			
			

Lampiran 3. Hasil Uji Kualitas Air PDAM Nogotirto

No	Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu	Sumber Air Baku	Reservoir	Pipa Pelanggan
Fisika						
1	Bau	-	0,2	Tidak berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Warna	TCU	10	25	15	20
3	TDS	Mg/l	300	226	220	230
4	Suhu	°C	3°C	16,1	15,7	16,3
5	TSS	NTU	≤ 3	8,45	2,85	4,22
Mikrobiologi						
6	E.Coli	Jml per 100 ml sampel	0	0	0	0
7	Total Coliform	Jml per 100 ml sampel	0	0	0	0
Kimia						
8	Fe	Mg/l	0,2	1,38	0	0,21
9	Mangan	Mg/l	0,1	0,4	0	0
10	Sisa Chlor	Mg/l	0,2	-	3,5	3,5
11	pH	-	6,5-8,5	7,7	7,8	7,7

Lampiran 4. Standar Baku Mutu PERMENKES No.2 Tahun 2023

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherchia Coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ± 3	°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	-	SNI/APHA
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)	0.2	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/APH A
15	Arsen (As terlarut)	0.01	mg/L	SNI/APH A
16	Kadmium (Cd terlarut)	0.003	mg/L	SNI/APH A
17	Timbal (Pb terlarut)	0.01	mg/L	SNI/APH A
18	Flouride (F terlarut)	1.5	mg/L	SNI/APH A
19	Alumuniu m (Al terlarut)	0.2	mg/L	SNI/APH A

Lampiran 5. National Primary Drinking Water Regulations U.S EPA

Contaminant	MCLG
<i>Cryptosporidium</i>	<i>Zero</i>
<i>Giardia lamblia</i>	<i>Zero</i>
<i>Heterotrophic Plate Count</i>	<i>n/a</i>
<i>Total Coliform</i>	<i>Zero</i>
<i>Turbidity</i>	<i>n/a</i>
<i>Virus (enteric)</i>	<i>Zero</i>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Penulis laporan tugas akhir ini memiliki nama Kurnisaa Wulan Wangi yang lahir di Tanjungpinang, 26 September 2002 merupakan putri bungsu dari Bapak Agus Pratomo dan Ibu Nugraheni Purwaningsih. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDIT Al-Madinah Tanjungpinang selama 6 tahun lulus pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah di SMPIT Al-Madinah dan lulus pada tahun 2017. Dan melanjutkan pendidikan di SMAIT Instantama *boarding school* Bogor selama 3 tahun, lulus tahun 2020. Hingga akhirnya menempuh studi perkuliahan di jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di universitas Islam Indonesia.