



TUGAS AKHIR

Keberadaan Protozoa *Cryptosporidium* dan *Coliform* di PAMSIMAS Sendangtirto, Kabupaten Sleman

RIDHO NURFAJRI

21513107

Dosen Pembimbing:

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

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

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SISPIIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BANCHELOR THESIS

**Presence of Protozoa *Cryptosporidium* and *Coliform* in PAMSIMAS
Sendangtirto, Sleman District**

RIDHO NURFAJRI

21513107

Supervisor:

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

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

Environmental Engineering Banchelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**Keberadaan Protozoa *Cryptosporidium* dan *Coliform* di PAMSIMAS Sendangtirto,
Kabupaten Sleman**

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik
(S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia.

RIDHO NURFAJRI
21513107

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 19 Mei 2025 dan disetujui oleh:

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

(Pembimbing 1)

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

(Pembimbing 2)

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

(Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

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



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 sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Februari 2025

Yang men



Ridho Nurfajri

NIM:21513107

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis selalu panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas rahmat, nikmat, dan segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Keberadaan Protozoa *Cryptosporidium* dan *Coliform* di PAMSIMAS Sendangtirto, Kabupaten Sleman”. Selain itu, penyusunan tugas akhir ini menjadi salah satu syarat kelulusan dalam Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

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

1. Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen pembimbing 1 yang telah memberikan waktu, bimbingan, saran, motivasi, dan nasihat bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan review, arahan dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan review, kritik, dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Orang tua penulis, Bapak Majani dan Ibu Eli Uhti Laela, serta saudara penulis yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moral, materi, ataupun doa yang selalu dipanjatkan kepada Allah SWT untuk penulis dalam menjalankan studi.

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.

Yogyakarta, Februari 2025

Ridho Nurfajri

ABSTRAK

RIDHO NURFAJRI. Keberadaan Protozoa *Crptosporidium* dan *Coliform* Pada PAMSIMAS Sendangtirto, Kabupaten Sleman. Dibimbing oleh Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., IPM. dan Ibu Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Air minum yang aman merupakan air yang tidak memiliki risiko kesehatan yang signifikan terhadap kesehatan manusia, dimana bayi, anak kecil, dan orang tua merupakan kelompok umur yang rentan terpapar penyakit melalui air. Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) merupakan usaha pemerintahan nasional yang bertujuan menyediakan air untuk dikonsumsi oleh masyarakat luas. Pengukuran kualitas air yang ada pada PAMSIMAS dapat menjadi indikator kesuksesan dalam hal mengurangi angka kematian dan penyakit yang di sebabkan oleh penyakit melalui air, seperti diare. Adanya mikroba dalam air merupakan sesuatu yang menandakan bahwa air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Kemampuan protozoa untuk beradaptasi dengan lingkungan tertentu seperti *Cryptosporidium* dan bakteri seperti *Coliform* dapat membahayakan manusia jika dikonsumsi secara berkepanjangan. Metode penelitian ini di laksanakan dengan menggunakan metode pewarnaan *Ziehl-Neelsen* yang merupakan metode pewarnaan bakteri asam dan *Most Probable Number* sebagai metode untuk mengetahui keberadaan *Coliform*. Sampel berasal dari air yang diambil di PAMSIMAS Sendangtirto, Kabupaten Sleman dimana air baku berasal dari air tanah (sumur) dan memiliki teknologi disinfeksi berupa ozon. Pengambilan sampel diambil sebanyak lima titik, dengan pengambilan di sumber serta jaringan distribusi. Hasil pengamatan laboratorium menunjukkan adanya *Cryptosporidium* di air baku dan setelah reservoir. Sedangkan, untuk *Coliform* ditemukan di lima titik pengambilan sampel, dengan jumlah tertinggi pada titik terjauh dengan jumlah *Coliform* 170 MPN/100 mL. Disinfeksi ozon masih kurang efektif dikarenakan masih ditemukan keberadaan *Cryptosporidium* dan *Coliform* pada sumber air baku dan jaringan PAMSIMAS. Kadar ozon dan tidak adanya pemantauan berkala dari pengelola menjadikan efektivitas ozon kurang maksimal.

Kata kunci: PAMSIMAS, *Cryptosporidium*, *Coliform*, *Ziehl-Neelsen*, *Most Probable Number*, PAMSIMAS Sendangtirto.

ABSTRACT

RIDHO NURFAJRI. Presence of Protozoa *Cryptosporidium* and Coliform in PAMSIMAS Sendangtirto, Sleman Regency. Supervised by Dr Andik Yulianto, S.T., M.T., IPM. and Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech, M.Agr, Ph.D.

Safe drinking water is water that does not pose a significant health risk to human health, with infants, young children and the elderly being the age groups most vulnerable to waterborne diseases. Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) is a national government effort that aims to provide water for consumption by the wider community. Measurement of water quality in PAMSIMAS can be an indicator of success in terms of reducing mortality and illness caused by waterborne diseases, such as diarrhoea. The presence of microbes in water is an indication that the water is not suitable for consumption. The ability of protozoa to adapt to certain environments such as *Cryptosporidium* and bacteria such as *Coliform* can harm humans if consumed on a prolonged basis. This research method was carried out using the Ziehl-Neelsen staining method which is an acidic bacterial staining method and Most Probable Number as a method to determine the presence of *Coliform*. Samples came from water taken at PAMSIMAS Sendangtirto, Sleman Regency where the raw water comes from groundwater (wells) and has disinfection technology in the form of ozone. Sampling was taken at five points, with collection at the source and distribution network. Laboratory observations showed the presence of *Cryptosporidium* in the raw water and after the reservoir. Meanwhile, *Coliform* was found at five sampling points, with the highest number at the farthest point with a *Coliform* count of 170 MPN/100 mL. Ozone disinfection is still less effective because *Cryptosporidium* and *Coliform* are still found in the raw water source and PAMSIMAS network. Ozone levels and the absence of regular monitoring from managers make ozone effectiveness less than optimal.

Keywords: PAMSIMAS, *Cryptosporidium*, *Coliform*, Ziehl-Neelsen, Most Probable Number, PAMSIMAS Sendangtirto.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Penyediaan Air Minum	4
2.1.1 Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat	5
2.2 Sumber Air Baku	6
2.3 Bakteriologis dan Protozoa	7
2.3.1 Bakteriologis <i>Coliform</i>	7
2.3.2 Protozoa <i>Cryptosporidium spp</i>	7
2.4 Disinfeksi Air Minum	10
2.5 Metode Pengujian.....	13
2.5.1 Metode <i>Most Probable Number</i> (MPN)	13
2.5.2 Metode <i>Ziehl – Neelsen</i> (ZN).....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Prosedur Analisis Data	18
3.1.1 Persiapan Penelitian.....	18
3.1.2 Pelaksanaan Penelitian.....	19
3.1.3 Pengujian Sampel.....	20
3.1.4 Kesimpulan dan Saran.....	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.3 Waktu dan Lokasi	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Kondisi PAMSIMAS Sendangtirto.....	26
4.1.1 Kondisi Eksisting	26
4.1.2 Teknologi Pengolahan Disinfeksi.....	27
4.2 Hasil Pengujian Sampel Air Pengolahan	29

4.2.1	Pengujian Parameter Fisik.....	29
4.2.2	Pengujian Keberadaan <i>Coliform</i>	30
4.2.3	Pengujian Keberadaan <i>Cryptosporidium</i>	32
4.2.4	Peningkatan Keakuratan Pengujian <i>Cryptosporidium</i>	35
4.2.5	Pengaruh Penggunaan Disinfeksi Ozon di PAMSIMAS	37
4.2.6	Analisis Keberadaan <i>Coliform</i> di PAMSIMAS	39
4.2.7	Analisis Keberadaan <i>Cryptosporidium</i> di PAMSIMAS	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum.....	5
Tabel 2. 2 Kadar Minimum <i>Crptosporidium</i> USEPA.....	10
Tabel 2. 3 Studi Terdahulu.....	14
Tabel 3. 1 Titik Pengambilan Sampel ke-1	19
Tabel 3. 2 Titik Pengambilan Sampel ke-2.....	19
Tabel 3. 3 Alat dan Bahan Untuk Pengujian.....	24
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Parameter Fisik PAMSIMAS	29
Tabel 4. 2 Hasil Pengamatan Sampel ke-1.....	31
Tabel 4. 3 Reduksi Kelompok Pathogen Teknologi Disinfeksi	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Hidup <i>Cryptosporidium</i> Aseksual dan Seksual Sumber: (Rossle & Latif, 2013).....	8
Gambar 2. 2 <i>Cryptosporidium</i> berdiameter 5 μm	9
Gambar 2. 3 Non – <i>Cryptosporidium</i> metode pewarnaan ZN	10
Gambar 2. 4 Disinfeksi Klorin Sumber : https://www.sciencedirect.com/	11
Gambar 2. 5 Ozon Generator Sumber : https://mapurna.id/blog/ozone-generator/	12
Gambar 2. 6 Disinfeksi UV Light	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3. 2 Skema Pengambilan Sample Air Sumur di PAMSIMAS Sumber : <i>United States Environmental Protection Agency (USEPA)</i> 2006.....	20
Gambar 3. 3 Diagram Alir Metode Pewarnaan Sumber : Naufutomo, K & Muntalif, B (2017)	21
Gambar 3. 4 Metode Pengujian <i>Coliform</i>	22
Gambar 3. 5 Lokasi Pengambilan Sampel di PAMSIMAS Sendangtirto.....	25
Gambar 4. 1 Lokasi PAMSIMAS Sendangtirto.....	26
Gambar 4. 2 Skema Pengolahan di PAMSIMAS Sendangtirto	27
Gambar 4. 3 Spesifikasi Ozon Generator di PAMSIMAS Sendangtirto	28
Gambar 4. 4 Grafik Jumlah <i>Coliform</i> Pengujian Ke - 2	31
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian <i>Cryptosporidium</i> menggunakan Image Raster	34
Gambar 4. 6 <i>Cyclospora oocyst</i> Pewarnaan Asam Sumber : Ortega & Robertson (2017)	35
Gambar 4. 7 <i>Mycobacterium</i> dengan perbesaran 100x Sumber : Rachmad et al. (2020)	36
Gambar 4. 8 Kondisi Area Sekitar PAMSIMAS Sumber : Google Earth Pro.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Table <i>Most Probable Number</i>	51
Lampiran 2 Pengambilan Sampel Pada Air Sumur.....	52
Lampiran 3 Pengambilan Sampel Setelah Disinfeksi	52
Lampiran 4 Pengambilan Sampel di Loop 1.....	53
Lampiran 5 Pengambilan Sampel di Loop 2.....	53
Lampiran 6 Pengambilan Sampel di Titik Terjauh.....	54
Lampiran 7 Alat dan Bahan Pada Saat Pengujian.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan hal yang tak tergantikan dalam kehidupan manusia. Di samping itu, air juga menjadi salah satu media bagi penyebaran penyakit (Wen et al., 2020). Masalah yang umum terjadi terkait air di negara berkembang ialah tidak konsistennya pasokan air (Rubino et al., 2019). Air minum merupakan salah satu parameter yang menandakan kesehatan masyarakat, *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa 10% masyarakat di dunia tidak mendapatkan sumber akses air bersih (Levallois & Villanueva, 2019). Air minum yang aman merupakan air yang tidak memiliki risiko kesehatan yang signifikan terhadap kesehatan manusia, dimana bayi, anak kecil, dan orang tua merupakan kelompok umur yang rentan terpapar penyakit melalui air. Penelitian yang dilakukan oleh (Swastomo & Iskandar, 2020), dengan kondisi Sistem Penyediaan Air Minum Pedesaan yang ada di Indonesia hanya 84,4% saja yang berfungsi dengan baik.

Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) merupakan usaha pemerintahan nasional yang bertujuan menyediakan air untuk dikonsumsi oleh masyarakat luas. Dilansir dari Buku Pedoman Umum PAMSIMAS (2022) yang menyatakan bahwa PAMSIMAS berhasil meningkatkan jumlah masyarakat pedesaan mengakses air minum dan sanitasi, serta mampu memperbaiki nilai perilaku hidup berupa kebersihan dan kesehatan. Berdasarkan narasi yang diberikan menjadikan PAMSIMAS merupakan sebuah program yang sangat berpengaruh terhadap air dan sanitasi yang ada di Indonesia. PAMSIMAS memang program yang unggul, tetapi kualitas air yang akan digunakan oleh masyarakat dari PAMSIMAS kiranya perlu dilakukan pemantauan kualitas air yang ada pada PAMSIMAS tersebut. Diungkapkan dalam *Drinking Water Quality* (2022) oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, bahwa pengukuran kualitas air yang ada pada

PAMSIMAS dapat menjadi indikator kesuksesan dalam hal mengurangi angka kematian dan penyakit yang disebabkan oleh penyakit melalui air (*waterborne disease*), seperti diare.

Adanya mikroba dalam air merupakan sesuatu yang menandakan bahwa air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Kemampuan protozoa untuk beradaptasi dengan lingkungan tertentu seperti *Cryptosporidium*, *Giardia*, atau *Blastocystis* menyebabkan perlunya pengolahan untuk menghilangkan protozoa pathogen tersebut (Moreno-Mesonero et al., 2024). Pada penelitian yang akan dilakukan, *Cryptosporidium* menjadi fokus utama keberadaannya pada PAMSIMAS. Adanya disinfeksi kimia dalam pengolahan memang menghilangkan banyak risiko penyakit yang terdapat pada kotoran tinja, tapi tidak menjamin air tersebut aman (WHO, 2022). *Cryptosporidium hominis* dan *Cryptosporidium parvum* merupakan dua jenis *Cryptosporidium* yang menyebabkan 90% kriptosporidiosis pada manusia (Guo et al., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adanya *Coliform* dan protozoa *Cryptosporidium* yang ada pada PAMSIMAS Sendangtirto sebagai salah satu parameter pemantauan kualitas air minum pada PAMSIMAS. Hal ini dikarenakan tidak semua PAMSIMAS di DI Yogyakarta memiliki teknologi disinfeksi yang mampu menghilangkan bakteri maupun virus yang ada di dalam air. Diharapkan masyarakat dan pemerintah sadar akan pentingnya mengonsumsi air minum yang layak konsumsi berdasarkan kriteria yang sudah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berbekalan latar belakang diatas, penulis merumuskan permasalahan yang akan menjadi fokus pada penelitian kali ini adalah:

1. Apakah terdapat protozoa *Cryptosporidium* dan *Coliform* di PAMSIMAS Sendangtirto?
2. Apakah disinfeksi yang diterapkan memiliki pengaruh dalam menghilangkan *Cryptosporidium* dan *Coliform*?

3. Apa hubungan antara kondisi lingkungan dengan keberadaan *Cryptosporidium* serta *Coliform* di PAMSIMAS?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

- 1) Untuk mengetahui kualitas air pada PAMSIMAS yang sudah memiliki teknologi disinfeksi, dimana kualitas air dilihat dari parameter mikrobiologis dengan keberadaan *Coliform*.
- 2) Untuk mengetahui kualitas air pada PAMSIMAS yang sudah memiliki teknologi disinfeksi, dimana kualitas air dilihat dari parameter mikrobiologis dengan keberadaan *Cryptosporidium*.

1.4 Manfaat Penelitian

Memberi informasi kepada masyarakat terkait bahaya mengonsumsi air yang terdapat protozoa atau bakteri yang ada pada air, masyarakat dapat mengajukan peninjauan ulang terkait kualitas PAMSIMAS kepada pemerintah setempat jika air tersebut terdapat protozoa patogen dan bakteri, sehingga layak untuk di jadikan sebagai pemenuhan kebutuhan air sehari – hari.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini dapat dirincikan sebagai berikut :

- 1) Penelitian ini dilakukan di PAMSIMAS Sendangtirto dan Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan periode Desember 2024 – Februari 2025.
- 2) Penelitian ini berfokus pada uji keberadaan protozoa dan bakteri khususnya *Cryptosporidium* dan *Coliform*.
- 3) Pengujian berlokasi di PAMSIMAS Sendangtiro dengan pengambilan sampel pada sumber air baku dan jaringan distribusi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyediaan Air Minum

Berdasarkan penjelasan yang ada dalam Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015, penyediaan air minum merupakan kegiatan menyediakan air minum untuk dikonsumsi masyarakat agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif. Sedangkan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), merupakan sarana dan prasarana penyediaan air minum. Pengembangan SPAM dilakukan untuk memenuhi kualitas, kuantitas, dan kontinuitas dari air minum yang meliputi pembangunan baru, peningkatan, serta perluasan. Kualitas air minum sendiri mampu menjadi parameter bagi kesehatan manusia, hal ini karena air minum merupakan pemasok utama energi bagi tubuh manusia, kualitas air minum secara tidak langsung merepresentasikan karakteristik air baku yang digunakan baik dari segi parameter fisika, kimia, dan mikrobiologis (Bruno et al., 2022).

Dilansir dari buku *Drinking Water Quality Monitoring* (2022) yang diterbitkan Kementerian Kesehatan RI, kualitas air minum yang ada di rumah tangga pada tahun 2021 terdapat 11,4% masyarakat yang baru menggunakan ledeng/air dengan jaringan perpipaan, mayoritas masyarakat masih menggunakan Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU), sumur gali terlindung, sumur bor/pompa, dan sumber lainnya. Adapun sebuah air minum layak dikonsumsi dari segi mikrobiologis telah diatur dalam PERMENKES Nomor 2/2023 yang tertera dalam **Tabel 2.1**, dimana terdapat batas maksimal keberadaan jumlah mikroorganisme yang terdapat di dalam air.

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

Parameter Wajib Air Minum				
Nomor	Jenis Parameter	Kadar Maksimum	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherchia Coli</i>	0	CFU/100 mL	SNI/APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100 mL	SNI/APHA

Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023

2.1.1 Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat

Demi mencapai target nasional dimana Indonesia berkomitmen untuk melanjutkan capaian target 100% air minum dan sanitasi layak serta pemerintah juga menerapkan target *Sustainable Development Goals* (SDGs) tahun 2030 dimana salah satunya pengelolaan air bersih dan sanitasi terjamin keberlanjutannya bagi semua. Adanya Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) tentu menjadi salah satu usaha yang dilakukan pemerintah untuk mencapai target tersebut. Program PAMSIMAS hingga 2024 ini telah melayani 12000 desa yang tersebar di 233 kabupaten/kota (Kusumastuti, 2022). Tujuan dari adanya pengadaan program PAMSIMAS adalah agar seluruh masyarakat dapat mengakses air bersih yang berkelanjutan di wilayah perdesaan maupun peri – urban.

Sasaran utama dari program ini adalah kabupaten yang memiliki cakupan pelayanan air minum di pedesaan yang belum mencapai 100%. Berdasarkan Petunjuk Teknis PAMSIMAS yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral PUPR, bahwa target program ini dalam kurun 2008 – 2021 mencapai 27.000 desa yang terlayani oleh program PAMSIMAS. Dalam tata pengelolaannya PAMSIMAS terbagi menjadi lima komponen. Pertama, pemberdayaan masyarakat, pengembangan kelembagaan daerah dan desa. Kedua, peningkatan perilaku dan layanan hidup bersih dan sehat melalui sanitasi berbasis masyarakat.

Ketiga, penyediaan sarana air minum dan sanitasi. Keempat, hibah intensif. Kelima, dukungan pengelolaan dan pelaksanaan program. Kualitas air yang dihasilkan oleh PAMSIMAS tentunya harus layak dikonsumsi oleh masyarakat, layak dalam artian memenuhi syarat wajib air minum sesuai regulasi yang telah ditentukan. Sepengetahuan penulis, studi terkait kualitas air dari PAMSIMAS itu sendiri sangat terbatas, dimana hal tersebut seharusnya menjadi hal yang bergandengan dengan penyebarluasan program PAMSIMAS.

2.2 Sumber Air Baku

Air minum yang didistribusikan berasal dari sumber air baku, terdapat beberapa jenis air baku yang biasanya diolah menjadi air minum salah satunya air tanah. Air tanah merupakan air yang sangat krusial bagi manusia, hal ini berkaitan dengan sektor kemasyarakatan dan keberlangsungan lingkungan (Grönwall & Danert, 2020). Air tanah juga dapat mempengaruhi sosio ekonomi baik pada kondisi lingkungan yang kering maupun semi – kering (Tlili-Zrelli et al., 2013). Kualitas air tanah yang dihasilkan dipengaruhi oleh prosedur dan perlakuan yang diberikan pada air dari awal dikumpulkan hingga disimpan di dalam reservoir, dimana hal tersebut dipengaruhi oleh sifat fisikokimia (Asadi et al., 2020).

Pada lokasi penelitian yang akan dilakukan, sumber air baku yang digunakan adalah air sumur atau air tanah. Semua air yang berada di bawah permukaan tanah dapat disebut sebagai air tanah, dalam air tanah terdapat dua zona yaitu zona tidak jenuh dan zona jenuh yang memiliki perbedaan antara satu dengan yang lainnya, kedua zona tersebut sebagian besar mengandung air dan udara. Air tanah umumnya memiliki kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) yang lebih tinggi dari sumber air baku lainnya (Widayat, 2018). Indonesia sendiri memiliki tingkat pengambilan air tanah tertinggi di Asia dengan pengambilan sebanyak 15 km³/tahun (Lo et al., 2021). Sumur gali juga merupakan konstruksi paling umum digunakan dalam penyediaan air minum bagi kebutuhan rumah tangga dengan kedalaman 7 – 10 m (Oktavia et al., 2018).

2.3 Bakteriologis dan Protozoa

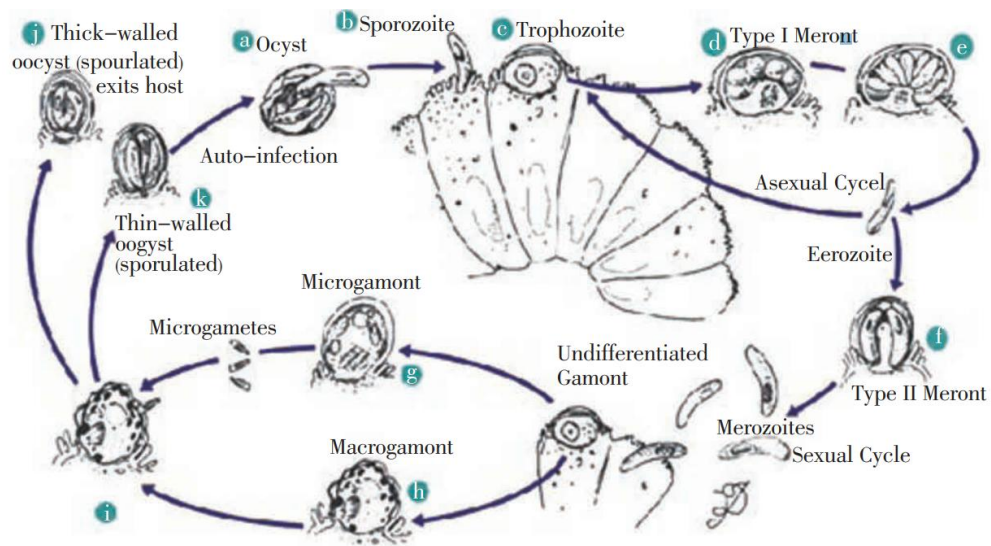
2.3.1 Bakteriologis *Coliform*

Coliform sering kali menjadi sebuah parameter uji pada kelayakan suatu air minum. Ada tiga jenis pengelompokan *Coliforms*, diantaranya ada *psychotropic Coliform*, *thermotolerant Coliform*, dan *ubiquitous Coliforms* (*Coliform* yang ada dimana – mana) (Leclerc et al., 2001). *Coliform* sering menjadi penyebab penyakit yang serius seperti gastroenteritis dan diare, hal tersebut terjadi biasanya akibat adanya pencemar dari septik tank maupun air limbah yang tidak diolah (Seo et al., 2019). Inkubasi dalam suhu 44,5 °C dapat menghambat pertumbuhan dari *Coliform* itu sendiri, kecuali *Coliform* yang tahan terhadap panas (*thermotolerant*). Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 dimana batas adanya *Coliform* dalam air yaitu 0 CFU/100 mL yang dimana menjadi acuan wajib air minum yang ada di Indonesia.

2.3.2 Protozoa *Cryptosporidium spp.*

Protozoa *Cryptosporidium* merupakan jenis genera protozoa yang masuk kedalam filum *Apicomplexa*, yang berkembang pada saluran pencernaan vertebrata sepanjang siklus hidupnya (Epa, 1994). *Cryptosporidium* merupakan salah satu protozoa yang berada di air, protozoa ini bersifat presisten, hal ini menjadikan protozoa ini bersifat resisten terhadap disinfeksi konvensional dan tidak berpengaruh untuk menghilangkan keberadaan protozoa tersebut (Couso-Pérez et al., 2023). *Cryptosporidium* juga merupakan penyumbang 76,5% dari wabah penyakit menular melalui air (*waterborne disease*). Penularan protozoa ini melalui fecal – oral atau melalui konsumsi makanan dan minuman yang sudah terkontaminasi (Cervero-Aragó et al., 2021).

Cryptosporidium memiliki siklus hidup yang hanya selesai pada satu inang, dimana siklus hidup protozoa ini terbagi menjadi enam tahap seperti pada **Gambar 2.1** yaitu eksitasi, merogoni, gametogoni, pembuahan dan perkembangan zigot, pembentukan dinding oosit yang tahan terhadap lingkungan, dan sporogoni (Tzipori & Ward, 2002).

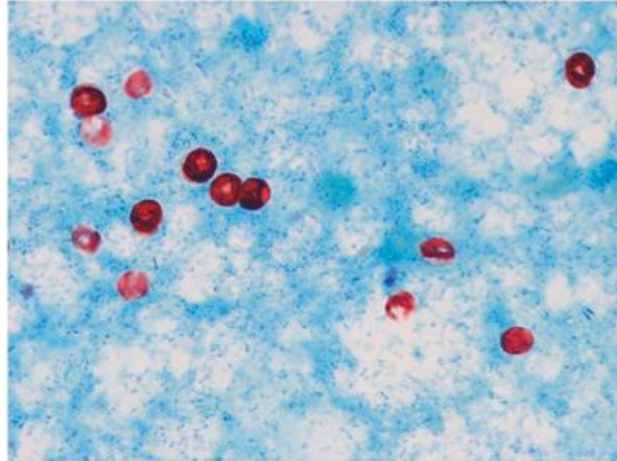


Gambar 2. 1 Siklus Hidup *Cryptosporidium* Aseksual dan Seksual
Sumber: (Rossle & Latif, 2013)

Penelitian yang dilakukan oleh (Tzipori & Ward, 2002), menjelaskan siklus hidup diawali dengan adanya konsumsi ookis dengan sel inang, setelah itu empat sporozoit dilepaskan di dalam usus yang nantinya akan menginfeksi sel epitel dan memulai perkembangan aseksual. Sporozoit ini mengalami proses terinternalisasi dan menjalani dua generasi merogoni berturut – turut, masing – masing melepaskan delapan merozoit. Merozoit yang dilepaskan dari merogoni kedua menghasilkan tahap perkembangan seksual antara mikro dan mikrogamet. Pelepasan mikrogamet dan proses menyatunya dengan makrogamet menimbulkan adanya zigot setelah melakukan perkembangan aseksual, hal itu menyebabkan terbentuknya ookista yang tahan pada kondisi lingkungan.

Rossle & Latif (2013) menjelaskan bahwa *Cryptosporidiosis* memiliki potensi mengenai masyarakat pada negara berkembang, terutama pada pasien anak – anak, pasien rumah sakit yang menderita gangguan kekebalan. Umumnya protozoa ini menginfeksi anak – anak dengan umur kurang dari lima tahun maksimal dua tahun (Snelling et al., 2007). Tidak hanya pada anak – anak, orang dewasa pun mampu terdampak paparan *Cryptosporidium* melalui air dan makanan (Rossle & Latif, 2013). Dalam laporan yang dipublikasikan

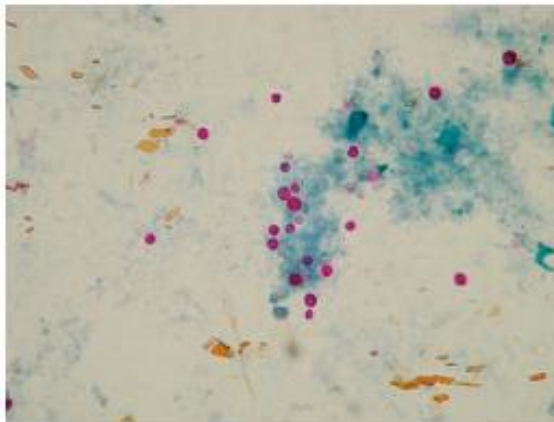
oleh (EPA, 1994), *Cryptosporidium* memiliki ukuran yang kecil, yaitu berkisar 4 – 6 μm seperti pada **Gambar 2.2**.



Sumber : Mead & Arrowood Editors (2020)

Gambar 2. 2 *Cryptosporidium* berdiameter 5 μm

United States Environmental Protection Agency (US EPA) menyatakan bahwa *Cryptosporidium* memiliki siklus hidup yang kompleks, satu hingga delapan hari waktu yang dibutuhkan untuk protozoa ini untuk masuk kepada inangnya baik manusia maupun hewan. Paparan protozoa patogen ini juga menyebabkan penyakit yang berpengaruh pada sistem pencernaan, penyerapan makanan, dan pembuangan limbah (Pignata et al., 2019). Dalam metode pengujian *Ziehl – Neelsen* yang dituliskan pada buku *Crptosporidium Methods and Protocols*, terdapat bentuk dan pewarnaan yang dapat menyebabkan keraguan yaitu adanya sisa ragi dan sisa kotoran tinja. Objek tersebut berbentuk lingkaran dan berwarna merah penuh serta berukuran lebih kecil, hal ini menyebabkan keraguan pada analisis menggunakan mikroskop. *Cryptosporidium* memiliki warna merah yang sedikit bertekstur dan berbentuk lingkaran atau oval.



Sumber : Mead & Arrowood Editors (2020)

Gambar 2. 3 Non – *Cryptosporidium* metode pewarnaan ZN

Pada penelitian kali ini yang bertempat di PAMSIMAS, dimana menggunakan air sumur (*ground water*) sebagai sumber air baku. Dimana keberadaan *Cryptosporidium* lebih jarang ditemukan dibandingkan dengan air permukaan (*surface water*). Dalam laporan mengenai *Cryptosporidium* oleh USEPA, menyatakan bahwa ookista dapat bertahan hidup selama berbulan-bulan di tanah dalam kondisi dingin, diperkirakan bahwa mereka dapat bertahan hidup selama berbulan-bulan di tanah dalam kondisi sejuk, gelap, dan hingga satu tahun dalam air dengan kekeruhan rendah. Tampaknya efektivitas hilang ketika ookista dibekukan, dibekukan-kering, direbus, atau dipanaskan pada atau di atas 60 ° C selama 5 hingga 10 menit.

Tabel 2. 2 Kadar Minimum *Crptosporidium* USEPA

<i>United States Environmental Protection Agency (USEPA)</i>	
Kontaminan	<i>Minimum Contaminant Level Goal (MCLG)</i>
<i>Cryptosporidium</i>	<i>zero</i>

Sumber : *United States Environmental Protection Agency*

2.4 Disinfeksi Air Minum

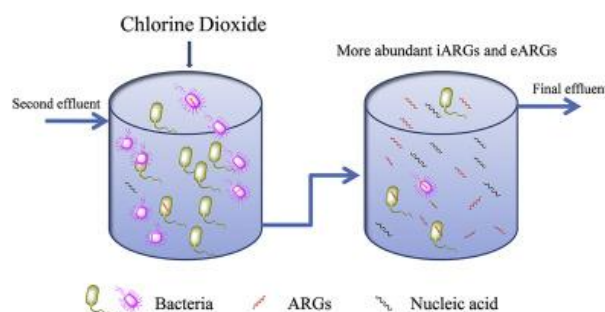
Air minum yang baik adalah air minum yang sudah steril dan tidak terdapat mikroorganisme yang terdapat didalamnya. Berdasarkan buku yang diterbitkan oleh *World Health Organization (WHO)* yang berjudul “*Drink Water Quality*

Guide”, menyatakan bahwa pengetahuan terkait keberadaan patogen dalam fasilitas penyediaan air minum sangat penting. Hal ini dapat menentukan fasilitas terbaik yang diberikan pada sumber penyediaan air minum, menentukan jumlah dari keberadaan patogen pada sumber air, dan menentukan target dan syarat air minum dalam bidang kesehatan dan keamanan air. Maka dari itu, diperlukan adanya teknologi disinfeksi pada fasilitas penyediaan air minum.

Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (DPUPR) Kabupaten Sleman menyatakan bahwa, pada PAMSIMAS di DI Yogyakarta hanya ada dua yang sudah menerapkan teknologi disinfeksi yaitu teknologi ozonisasi dan sinar ultraviolet. Adapun teknologi yang biasanya digunakan dalam disinfeksi pada fasilitas penyediaan air minum antara lain :

1. Klorinasi

Desinfeksi menggunakan klorin tidak efektif digunakan dalam mencegah adanya *Cryptosporidium*, klorinasi sebagai salah satu teknologi yang digunakan untuk disinfeksi juga sangat dipengaruhi oleh kekeruhan air dimana kekeruhan air harus berada di bawah 1 NTU (WHO, 2022). Implementasinya di masyarakat, dari beberapa studi kasus masyarakat tidak terlalu menyukai air hasil disinfeksi menggunakan klorin, hal ini dikarenakan bau yang ditimbulkan serta jika dirasakan memiliki cita rasa yang tidak sedap.



Gambar 2. 4 Disinfeksi Klorin
Sumber : <https://www.sciencedirect.com/>

2. Ozonisasi

Ozonisasi merupakan salah satu jenis desinfeksi kimia, dimana pada proses ozonisasi memerlukan dosis desinfektan yang tepat, hal ini bertujuan untuk mempertahankan konsentrasi residu dalam air dan memberikan perlindungan dari kontaminasi pasca perawatan. Penggunaan ozon dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi bromat melalui oksidasi bromida yang ada di dalam air. Secara umum, semakin tinggi konsentrasi bromida di dalam air, semakin besar produksi bromat (WHO, 2022).



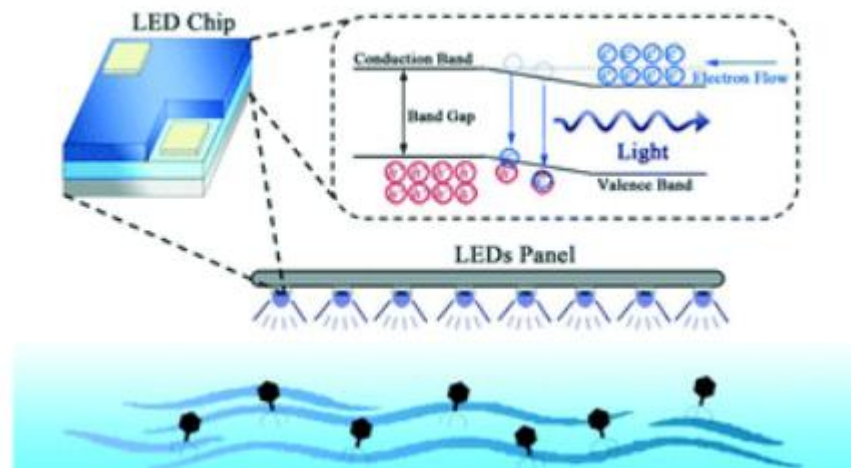
Gambar 2. 5 Ozon Generator

Sumber : <https://mapurna.id/blog/ozone-generator/>

3. Ultraviolet

Penggunaan sinar radiasi ultraviolet (UV) menjadi langkah yang dijadikan sebagai alternatif desinfeksi bagi air limbah dan air minum, hal ini karena efektifitas dalam inaktivasi protozoa dan residu disinfektan yang lebih baik dibandingkan dengan desinfeksi kimia konvensional (Chen et al., 2017). Efektivitas desinfeksi sangat dipengaruhi oleh dosis yang diterapkan, yang bervariasi berdasarkan intensitas, durasi paparan, dan panjang gelombang UV. Kekeruhan yang tinggi dan keberadaan spesies terlarut tertentu dapat menghambat proses desinfeksi. Oleh karena itu, kekeruhan

sebaiknya dijaga di bawah 1 NTU untuk memastikan efektivitas. Jika hal ini tidak memungkinkan, kekeruhan harus tetap di bawah 5 NTU dengan menggunakan dosis yang lebih tinggi (WHO, 2022).



Gambar 2. 6 Disinfeksi UV Light

Sumber : Chen, et.al., (2017)

2.5 Metode Pengujian

2.5.1 Metode Most Probable Number (MPN)

Keberadaan *Coliform* dapat diartikan sebagai indeks sebagai angka paling mungkin (*Most Probable Number*) sebesar 100 mL, dimana MPN ini merupakan perkiraan statistik jumlah bakteri *T. Coliform* dalam sebuah sampel berdasarkan hasil fermentasi dari beberapa tabung (Lipps et al., 2022). Metode MPN pertama kali dikembangkan pada tahun 1939 oleh Haldane. *Most Probable Number* (MPN) sendiri memiliki dua tahapan pengujian diantaranya, uji penduga (*presumptive test*) dan uji penegas (*confirmative test*) (Sunarti, 2015). Keberadaan *T. Coliform* dalam air telah diatur dalam Permenkes Nomor 2 Tahun 2023, dimana batas wajib yang perlu dipenuhi adalah 0 CFU/100 mL. Selain itu, jumlah mikroba mewakili pembentuk koloni *Colony Forming Unit* (CFU) yang mungkin dihasilkan dari bakteri atau jamur menyebabkan terjadinya variasi jumlah koloni di pelatulan atau pengenceran ganda (Lipps et al., 2022).

2.5.2 Metode Ziehl – Neelsen (ZN)

Metode Ziehl – Neelsen merupakan metode pewarnaan bakteriologi yang digunakan untuk mengidentifikasi organisme tahan asam, reagen yang biasa digunakan untuk metode pengujian ini adalah karbol fuchsin *Ziehl – Neelsen*, alkohol asam, dan metilen biru dimana bakteri asam akan berwarna cerah setelah dilakukan pewarnaan (Sandle, 2016). *Cryptosporidium* akan diidentifikasi dengan menggunakan pewarnaan bakteriologis asam dan dilakukan perhitungan protozoa dalam sampel tersebut. Sebelum dilakukan pewarnaan sampel yang ada akan dibuat apusan pada kaca preparat, lalu dilakukan pewarnaan asam dengan menambahkan karbol fuchsin yang merupakan campuran dari *basic fuchsin*, etanol, dan fenol (Kurnia Naufutomo & Sentiani Muntalif, 2017).

Kelebihan dari metode *Ziehl – Neelsen* ialah metode ini sederhana dan mudah dilakukan dan kekurangan dari metode ini dalam melakukan pelaksanaannya adalah memiliki tingkat spesifik yang rendah dalam mengidentifikasi protozoa lainnya seperti *Isospora* dan *Cyclospora*.

Tabel 2. 3 Studi Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Hasil
1.	Kurnia Naufutomo & Sentiani Muntalif (2017)	<i>Cryptosporidium</i> sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus: Hulu Sungai Citarum,	Sungai Citarum termasuk kedalam kategori buruk. Parameter fisika dan kimia memiliki pengaruh paling besar terhadap pengujian yaitu sebesar 71,3% .

		Kabupaten Bandung)	
2.	Couso-Pérez et al. (2023)	Removal of the waterborne parasite <i>Cryptosporidium Parvum</i> from drinking Water Using Granular Activated Carbon	<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i> merupakan teknologi yang mampu menjadi penghalang bagi <i>cryptosporidium oocyst</i> , teknologi GAC cocok digunakan bagi masyarakat berpenghasilan menengah kebawah.
3.	Rienoviar et al. (2011)	Pengaruh Konsentrasi Ozon Terhadap Cemarkan Mikroba Pada Air Minum Dalam Kemasan	Jika disinfeksi hanya dilakukan menggunakan ozon, maka konsentrasi ozon minimum untuk menghasilkan air minum dalam kemasan yang memenuhi persyaratan cemarkan mikroba awal adalah 0,3 ppm.
4.	Pignata et al. (2019)	<i>Cryptosporidium Oocyst</i> Contamination in Drinking Water: A Case Study in Italy	<i>Cryptosporidium oocysts</i> ditemukan pada 83,3% sample yang diuji, pada influent 100% terdapat <i>cryptosporidium</i>

			<i>oocysts</i> dan pada effluent 77,8% positif mengandung <i>cryptodporidium oocysts</i> .
5.	Ruhcahyani, F.S., (2024)	Identifikasi Protozoa <i>Giardia Lambia</i> dan <i>Cryptosporidium</i> dengan Metode <i>Ziehl-Neelsen</i> Pada PDAM Unit Tridadi, Sleman	Kista dan/atau trofozoit <i>Giardia lamblia</i> dan Oosit <i>Cryptosporidium</i> ada dalam air hasil olahan IPA Murangan. Kadar klorin yang digunakan belum mampu membunuh bakteri pathogen dalam air olahan yang disebabkan oleh sifat resisten kedua protozoa terhadap klorin dengan kadar standar dan kemampuan bertahan hidup diluar inang yang cukup lama dalam suhu rendah dan lembab.
6.	Wangi, K.W., (2024)	Identifikasi Protozoa <i>Cryptosporidium</i> dan <i>Giardia Lambia</i> Pada PDAM Sleman Nogotirto	Metode pewarnaan modifikasi <i>Ziehl-Neelsen</i> menggunakan pewarnaan terhadap bakteri tahan asam dan pengamatan melalui mikroskop dapat

		Melalui Metode <i>Ziehl- Neelsen</i>	terlihat dengan jelas. 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
--	--	---	---

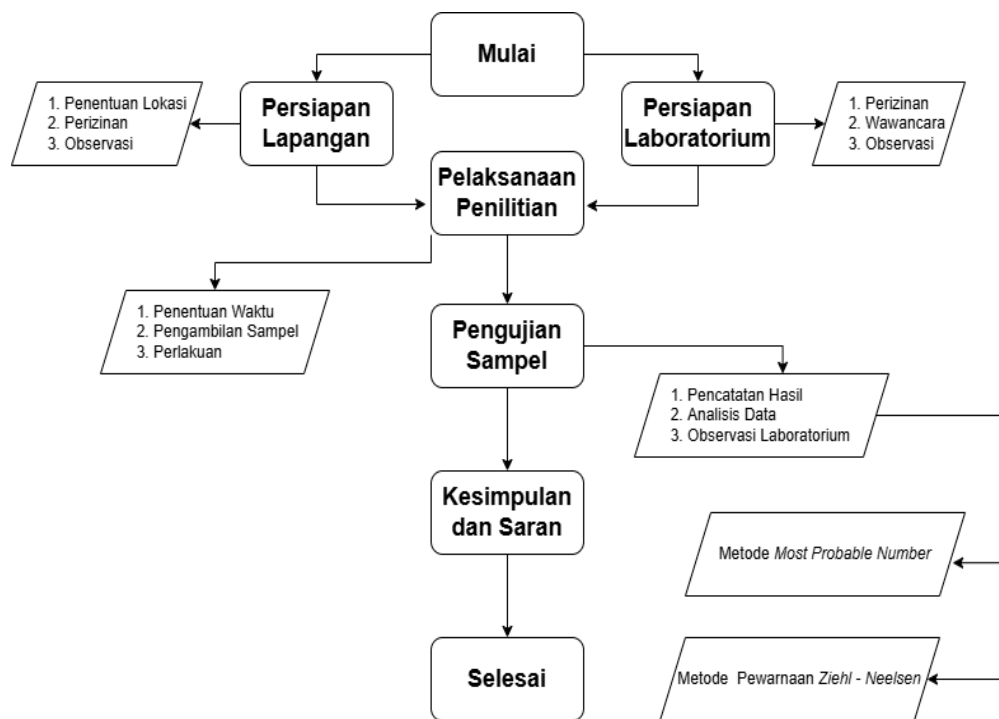
Hingga saat ini, studi mengenai kualitas air lebih banyak dilakukan pada sumber air alami seperti sungai, sementara kualitas air pada sistem penyediaan seperti PAMSIMAS masih belum banyak dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas air pada PAMSIMAS guna mengisi kesenjangan penelitian yang ada.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Analisis Data

Adapun tahapan atau prosedur penelitian yang akan dilakukan adalah dengan mempersiapkan kegiatan yang akan dilakukan di lapangan sebagai langkah pengambilan sampel pada PAMSIMAS serta pengujian dan analisis sampel yang akan dilakukan pada laboratorium sebagaimana tertera pada **Gambar 3.1**



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang perlu dilakukan adalah mempersiapkan kegiatan lapangan dan laboratorium. Persiapan lapangan yang dimaksud ialah dengan meminta izin dari pengelola PAMSIMAS Sendangtirto yang tempatnya akan dijadikan sampel pengujian. Sedangkan persiapan laboratorium dilakukan

dengan perizinan penelitian dan konsultasi untuk pengujian sampel air yang akan dilakukan di laboratorium. Selain itu, memastikan pengujian untuk menentukan keberadaan *Coliform* sesuai standar dari APHA dan untuk pengujian pewarnaan asam menggunakan acuan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Tastaptyani Kurniani Nafutomo dan Barti Setiani Muntalif pada tahun 2017.

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak dua kali, pengambilan sampel pertama diambil dengan jumlah dua sampel sebagaimana pada **Tabel 3.1**, yaitu air sumur dan setelah reservoir. Pengambilan sampel kedua sebagaimana pada **Tabel 3.2**, pengambilan sampel diambil dari sumur kedalaman 50 meter dan diameter 6 inch dengan lima titik yang berbeda dengan adanya tambahan sampel dari jaringan distribusi PAMSIMAS.

Tabel 3. 1 Titik Pengambilan Sampel ke-1

Nomor	Keterangan
1	Air Sumur
2	Setelah Disinfeksi

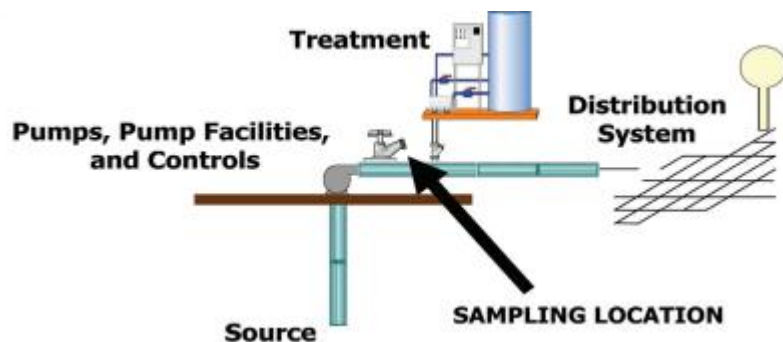
Tabel 3. 2 Titik Pengambilan Sampel ke-2

Nomor	Keterangan
1	Air Sumur
2	Setelah Disinfeksi
3	Loop 1
4	Loop 2
5	Titik Terjauh

3.1.2 Pelaksanaan Penelitian

Penentuan waktu dan pengambilan sampel pada PAMSIMAS yang ada di Sendangtirto dilakukan setelah melalui prosedur yang telah disusun. Pengambilan sampel air dilakukan sesuai prosedur agar kualitas sampel terjaga sampai saat pengujian dilakukan, yaitu dengan cara menaruh sampel pada botol kaca yang dilapisi aluminium dan sudah steril. SNI 7828:2012 menjadi acuan

dalam pengambilan sampel dan SNI 9063-2022 menjadi acuan dalam pengambilan sampel untuk parameter mikrobiologis. Pada jaringan distribusi dan Pengambilan sampel dilakukan dengan pengambilan sampel dari sumber air baku, yaitu air sumur. Sampel air setelah dilakukan disinfeksi, diwakili oleh sampel air yang diambil dari jarak paling dekat dengan PAMSIMAS. Lalu, sampel air dari masing – masing loop, dan sampel air dari titik terjauh loop. Metode pengambilan menggunakan metode *purposive sampling* dimana mengambil sampel di beberapa titik untuk mewakili kualitas air di lokasi penelitian. Untuk pengambilan sampel menggunakan sistem *composite sample* dimana mengambil air dari gabungan beberapa titik berbeda, dengan waktu yang sama dan volume sama.



Gambar 3. 2 Skema Pengambilan Sample Air Sumur di PAMSIMAS
Sumber : *United States Environmental Protection Agency (USEPA)* 2006

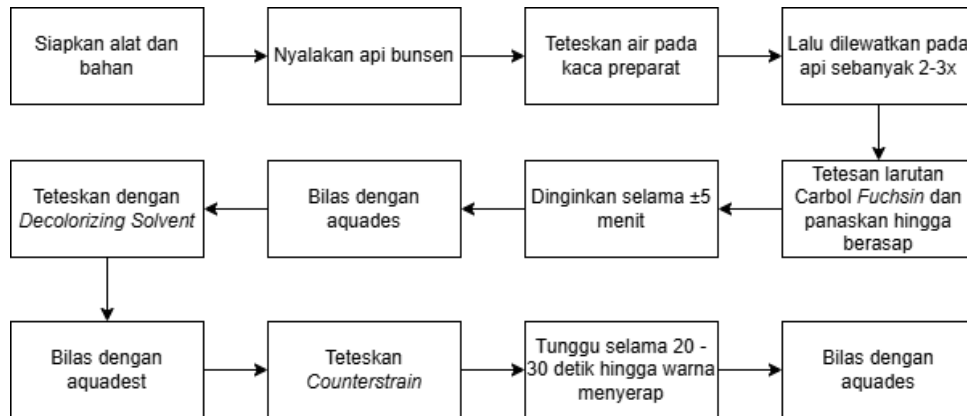
3.1.3 Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan di laboratorium dengan metode *Ziehl – Neelsen* dimana pengujian dilakukan dengan pewarnaan bakteriologis asam yang akan menimbulkan warna terang jika telah dilakukan pengujian dan *Most Probable Number* (MPN) yang digunakan untuk mengetahui jumlah *Total Coliform* yang terdapat pada sample air dari PAMSIMAS. Adapun penjelasan mengenai dua metode pengujian sample yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Metode *Ziehl – Neelsen*.

Pada metode ini, peneliti mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan terkait keberadaan *Cryptosporidium* yang ada di Sungai Citarum.

Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop sebagai alat bantu untuk mengamati keberadaan protozoa dalam sampel air yang akan diuji.



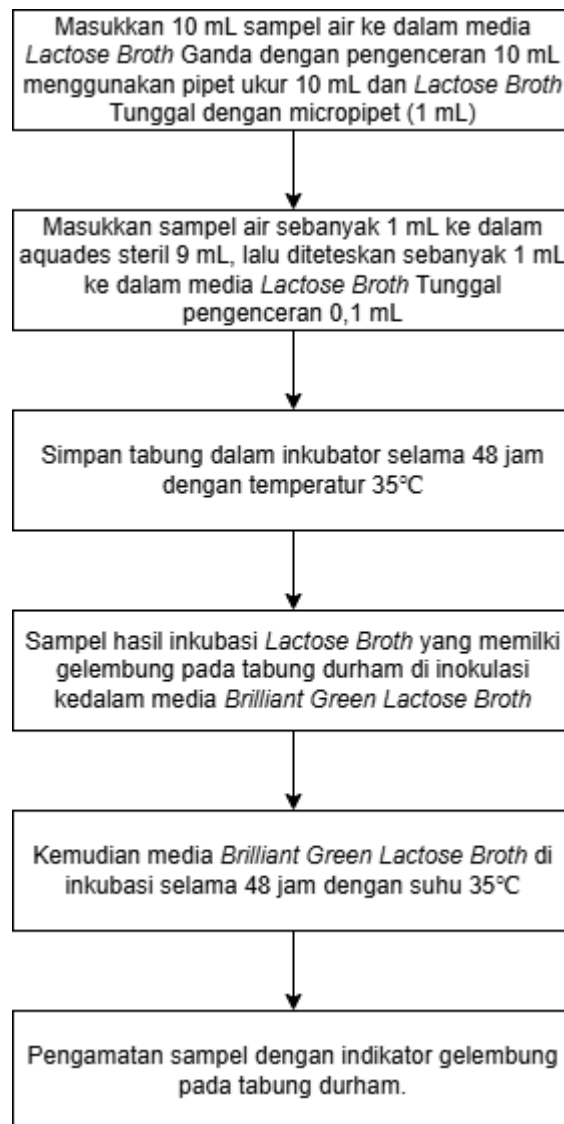
Gambar 3. 3 Diagram Alir Metode Pewarnaan

Sumber : Naufutomo, K & Muntalif, B (2017)

2. Metode *Most Probable Number* (MPN).

Metode MPN digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan *Coliform* yang terdapat pada sampel, Pada pengujian sampel kali ini dilakukan dua kali, dimana pada tahap pertama dengan pengambilan sampel air sumur dan sampel air setelah dilakukan ozonisasi. Pengujian laboratorium untuk *Coliform* dilakukan dua tahap uji, yaitu tes pendugaan dan tes penegasan. Uji pendugaan dilakukan dengan menggunakan media *Lactose Broth* (LB) dengan tiga pengenceran (10 mL, 1 mL, 0,1 mL), uji penegasan dilakukan dengan menggunakan media *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB), dan menyediakan aquades steril untuk pengenceran sampel 0,1 mL. Jumlah media yang dibutuhkan adalah lima belas media LB dan lima belas media BGLB untuk satu sampel uji, jadi untuk pengujian dibutuhkan 75 media untuk LB dan 75 media BGLB untuk dua sampel uji.

Adapun tahapan dalam melakukan pengujian *Coliform* menggunakan metode *Most Probable Number* sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Metode Pengujian *Coliform*

- **Uji Penduga (*persumptive test*)**

Pada uji pendahuluan atau penduga dilakukan dengan menginokulasi pada media *lactose broth* dilihat dengan ada tidaknya pembentukan gas dalam tabung durham setelah diinkubasi dalam kurun waktu 24 – 48 jam pada suhu 35°C – 37°C (Sunarti, 2015). Bila terdapat gas pada tabung durham perlu dilakukan uji penegasan (*confirmative test*), jika selama 48 jam tidak terbentuk gas maka hasil dinyatakan negatif atau tidak perlu melakukan uji penegasan (*confirmative test*).

- **Uji Penegasan (*confirmative test*)**

Pada uji penegasan dengan menambahkan *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB), dilihat dengan ada tidaknya gas yang terbentuk dalam tabung durham dalam kurun waktu 48 jam, bila gas terbentuk dalam tabung durham maka hasil uji dinyatakan positif (Sunarti, 2015).

- **Uji Kelengkapan (*complete test*)**

Uji kelengkapan dilakukan pada sample yang memiliki hasil positif dengan mengambil satu ose dan dimasukkan kedalam media simon sitrat, medium air pepton, methyl red, dan voges proskauer. Sample tersebut diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 30°C, hasil positif ditunjukkan dengan adanya perubahan warna pada sitrat menjadi biru terang, pada voges - proskauer dan indol berupa cincin merah bata, dan pada methyl red menjadi merah (Utami & Miranti, 2020).

3.1.4 Kesimpulan dan Saran

Setelah tahap persiapan hingga pengujian sampel dilakukan, dibuat penarikan kesimpulan yang diambil dari analisis data yang dilakukan dari kedua metode pengujian. Dimana pada metode *Ziehl – Neelsen* akan diperoleh keberadaan protozoa *Cryptosporidium* yang diidentifikasi melalui pewarnaan bakteri asam. Sedangkan jumlah *Coliform* akan diketahui melalui pengujian menggunakan metode *Most Probable Number* yang akan disesuaikan dengan regulasi yang ada yaitu Permenkes 2/2023.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian kali ini menggunakan dua metode dalam mengidentifikasi bakteri dan protozoa yang terdapat didalam sampel uji, adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam melakukan pengujian dengan metode *Most Probable Number* (MPN) dan *Ziehl – Neelsen* (ZN) tertera pada **Tabel 3.3**, alat dan bahan yang tertera diatas disusun sesuai dengan kebutuhan pengujian berdasarkan metode MPN dan ZN.

Adapun kegunaan dari masing – masing larutan yang digunakan dalam proses pewarnaan dilansir dari Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas

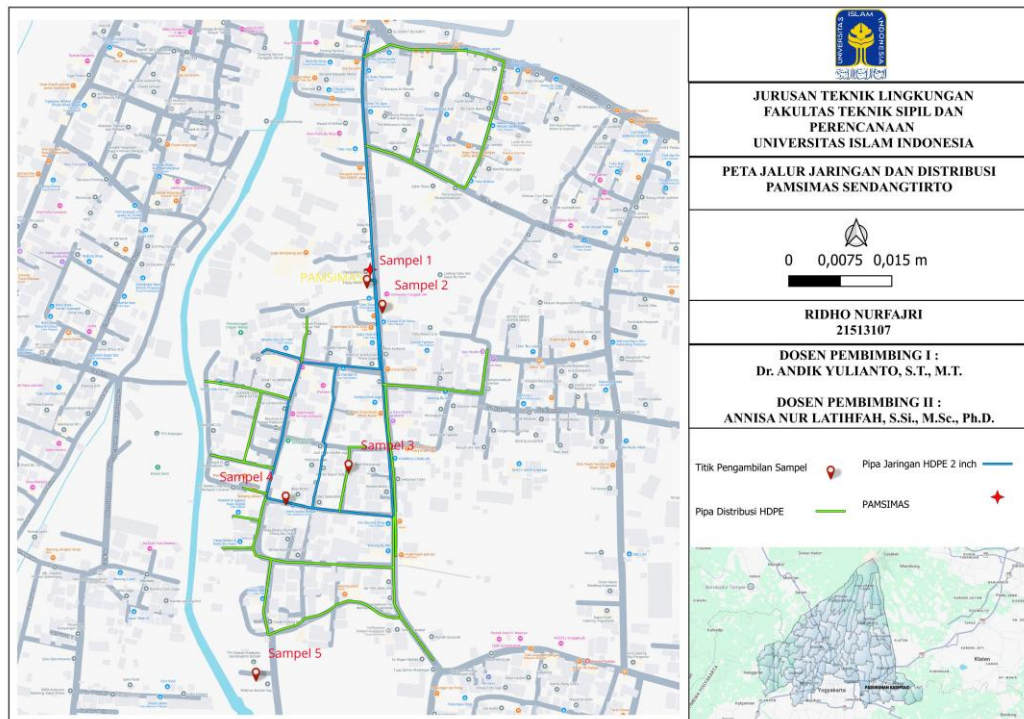
Islam Indonesia, seperti *carbol fuchsin*, berfungsi sebagai zat pewarna primer yang mempermudah untuk menembus dinding lipid, pemanasan membantu efektivitas dari kerja *carbol fuchsin*. *Decolorizing Agent*, merupakan asam alkohol untuk melakukan dekolorisasi dan menguatkan dinding sel yang tersusun atas lipid. Terakhir, *Counterstrain methylen blue*, hanya sel bakteri non-BTA yang mampu terwarnai oleh *methylene blue*, karena mengalami dekolorisasi.

Tabel 3. 3 Alat dan Bahan Untuk Pengujian

No.	Alat
1	Oven
2	Autoklaf
3	Inkubator
	Bahan
1	Sample air dari PAMSIMAS
2	<i>Larutan Basic Fuchsin</i>
3	<i>Brilliant Green Lactose Broth</i>
4	<i>Lactose Broth medium</i>
5	<i>Methylen Blue (Counterstain)</i>
6	<i>Decolorizing Solvent</i>

3.3 Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan dalam kurun waktu Desember 2024 s.d Februari 2025, dimana PAMSIMAS Sendangtirto dan Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia menjadi ruang lingkup penelitian. PAMSIMAS Sendangtirto yang bertempat di Padukuhan Kadipolo, Kabupaten Sleman menjadi objek pengambilan sampel sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 3.5**



Gambar 3. 5 Lokasi Pengambilan Sampel di PAMSIMAS Sendangtirto

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi PAMSIMAS Sendangtirto

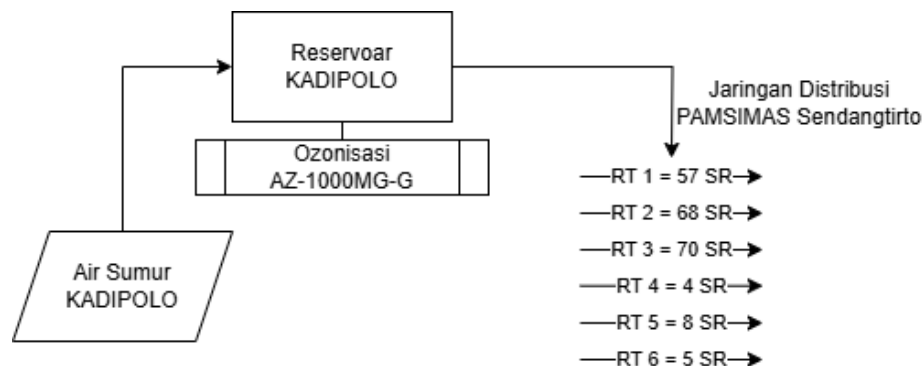
4.1.1 Kondisi Eksisting

Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat atau PAMSIMAS merupakan program yang bertujuan untuk meningkatkan akses air minum dan sanitasi kepada masyarakat yang berkelanjutan khususnya di kawasan pedesaan dan peri – urban. Sebagaimana adanya PAMSIMAS Sendangtirto, yang merupakan upaya dalam memenuhi kebutuhan air dan sanitasi pada wilayah Kelurahan Sendangtirto tepatnya di Dusun Kadipolo. Sesuai dengan petunjuk teknis yang diterbitkan oleh Direktur Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR, bahwa salah satu sasaran program ini adalah penduduk dapat mengakses sarana sanitasi yang layak, sebagaimana yang di sampaikan perwakilan salah satu pengelola bahwa adanya PAMSIMAS Sendangtirto ini merupakan salah satu usaha menjadikan kebutuhan masyarakat akan air bersih menjadi terpenuhi.



Gambar 4. 1 Lokasi PAMSIMAS Sendangtirto

PAMSIMAS Sendangtirto memiliki reservoir sebagai tempat menampung air dengan dimensi 3m x 4m x 2,4m. Sumber air yang digunakan sebagai kebutuhan air adalah air sumur sedalam 50 meter dengan diameter 6 inci yang dipompa dengan daya pompa 2 HP/1500 kw. Cakupan layanan dari PAMSIMAS ini sebanyak 212 SR (2 RW dan 6 RT), dengan rincian RT 1 57 SR, RT 2 68 SR, RT 3 70 SR, RT 4 4 SR, RT 5 8 SR, dan RT 6 5 SR. Dengan tarif tetap 5000 rupiah / SR dan dikenakan biaya untuk penggunaan 5 m³ pertama sebesar 2500 rupiah/m³, melebihi itu dikenakan tarif lanjutan sebesar 3000 rupiah/m³. Penggunaan pompa dan alat kontrol otomatis pada tempat ini menggunakan tenaga listrik dengan biaya operasional 400.000 rupiah/bulan, hal ini merupakan tarif sosial. Reservoir rutin dilakukan perawatan dengan dikuras selama dua kali dalam setahun, pipa yang digunakan untuk mendistribusikan air dari reservoir menggunakan pipa HDPE berukuran 2 inci dan 0,5 inci dengan panjang ± 3,1 km.

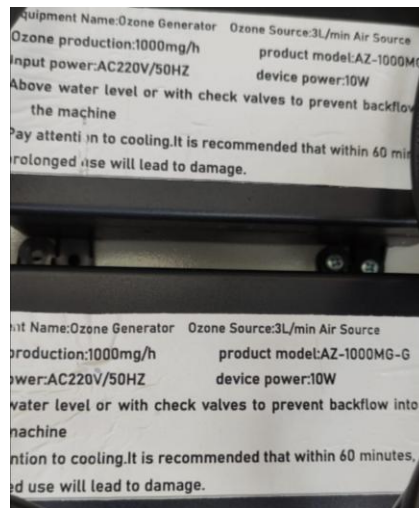


Gambar 4. 2 Skema Pengolahan di PAMSIMAS Sendangtirto

4.1.2 Teknologi Pengolahan Disinfeksi

Pada umumnya teknologi disinfeksi yang paling sering digunakan dalam pengolahan air adalah disinfeksi klorin. Di samping itu ozon, ultraviolet, dan klorin dioksida juga masih digunakan. Teknologi disinfektan diatas cukup efektif dalam mengatasi virus (tergantung jenis) dan protozoa seperti *Giardia* dan *Cryptosporidium*. Pada penelitian kali ini, PAMSIMAS Sendangtirto memiliki teknologi desinfektan berupa ozon. Ozon generator yang digunakan

pada pengolahan air adalah VOSOCO Ozone Generator Water Air Purifier Sterilizer 1000 mg/h dengan model AZ-1000MG-G, dengan power ozon sebesar 10 Watt.



Gambar 4. 3 Spesifikasi Ozon Generator di PAMSIMAS Sendangtirto

Dalam artikel yang diterbitkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), teknologi disinfeksi ozon digunakan untuk pengolahan air limbah, sedangkan untuk pengolahan air bersih tidak menggunakan teknologi ozon sebagai alternatif pengolahannya. Ozon dengan konsentrasi 0,3 mg/L sampai 0,9 mg/L dapat menghilangkan bakteri seperti *E. Coli*, *Vibrio*, *Salmonella*, *Yersinia*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, dan *Listeria* (Han et al., 2006). Ozon membasmi mikroorganisme dengan mengoksidasi dan merusak dinding selnya, sehingga mikroorganisme dapat mati. Proses disinfeksi oleh ozon berlangsung melalui oksidasi langsung saat ozon bersentuhan dengan dinding sel, memicu reaksi oksidasi yang menimbulkan lubang pada dinding sel tersebut. Akibatnya, bakteri kehilangan bentuk dan pertahanan utamanya pun rusak. Dalam penggunaannya pengelola PAMSIMAS Sendangtirto kurang mengetahui jenis ozon yang digunakan dan berapa konsentrasi yang di injeksikan ke dalam reservoir sebagai disinfeksi air yang dipompa dari sumur. Hal ini perlu diperhatikan karena menyangkut efektivitas dari kemampuan ozon sebagai teknologi disinfeksi.

4.2 Hasil Pengujian Sampel Air Pengolahan

Pengujian sampel dilakukan sebanyak dua kali, dimana pada pengujian sampel pertama mengambil sampel air dari sumur dan setelah ozon. Pengambilan sampel kedua dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak lima titik, berdasarkan arah jaringan (loop).

4.2.1 Pengujian Parameter Fisik

Pengujian parameter fisik dilakukan dengan pengujian TDS, kekeruhan, suhu, dan bau. Pengujian ini bertujuan mengetahui apakah parameter fisik pada tempat penelitian mempengaruhi keberadaan dari *Coliform* dan *Cryptosporidium* di PAMSIMAS. Pengujian parameter fisik dilakukan pada lima titik pengujian, titik pengujian menggunakan titik yang sama dengan titik pengambilan sampel untuk pengujian *Coliform* dan *Cryptosporidium*.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Parameter Fisik PAMSIMAS

No	Parameter	Sampel Uji				
		Air Sumur	Sesudah Disinfeksi	Loop 1	Loop 2	Titik Terjauh
1	TDS (mg/L)	237	275	273	294	273
2	Kekeruhan (NTU)	0	0	0	0	0
3	Suhu	28°C	28°C	28°C	27°C	29°C
4	Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau

Hasil pengujian menunjukkan air pada PAMSIMAS dan jaringan distribusi memenuhi parameter wajib air minum yang ditentukan oleh Permenkes. Dalam penelitian kali ini ingin mengetahui pengaruh parameter fisik dalam keberadaan *Cryptosporidium* dan *Coliform* dalam air yang terdapat pada air yang terdapat pada beberapa titik sampel. Dalam *Cryptosporidium* : *Drinking Water Health Advisory* yang diterbitkan oleh EPA tahun 1994, menunjukkan bahwa protozoa ini tahan selama satu minggu dalam air yang memiliki suhu - 10°C, namun tetap memiliki kemampuan untuk menular untuk jangka waktu 24 minggu dalam air yang memiliki suhu 20°C. Memanaskan air yang terdapat

Cryptosporidium selama 5 – 20 menit dengan suhu 45°C dan protozoa dapat berkurang efektivitasnya dengan suhu 72°C selama 60 detik serta 2 menit untuk suhu 64°C. Protozoa ookista ini juga mampu bertahan hidup selama berbulan – bulan di dalam kondisi gelap dan sejuk dan satu tahun bila air tersebut memiliki kekeruhan yang rendah. Pada hasil uji yang tertera pada **Tabel 4.1**, menjadi data dimana untuk *Cryptosporidium* akan bertahan lama dikarenakan air pada lokasi penelitian tidak keruh. Untuk meminimalisir adanya protozoa ini dapat dilakukan pemanasan air yang akan dikonsumsi atau digunakan dengan cara memanaskan air dengan suhu 45°C dengan waktu 5 – 20 menit.

4.2.2 Pengujian Keberadaan *Coliform*

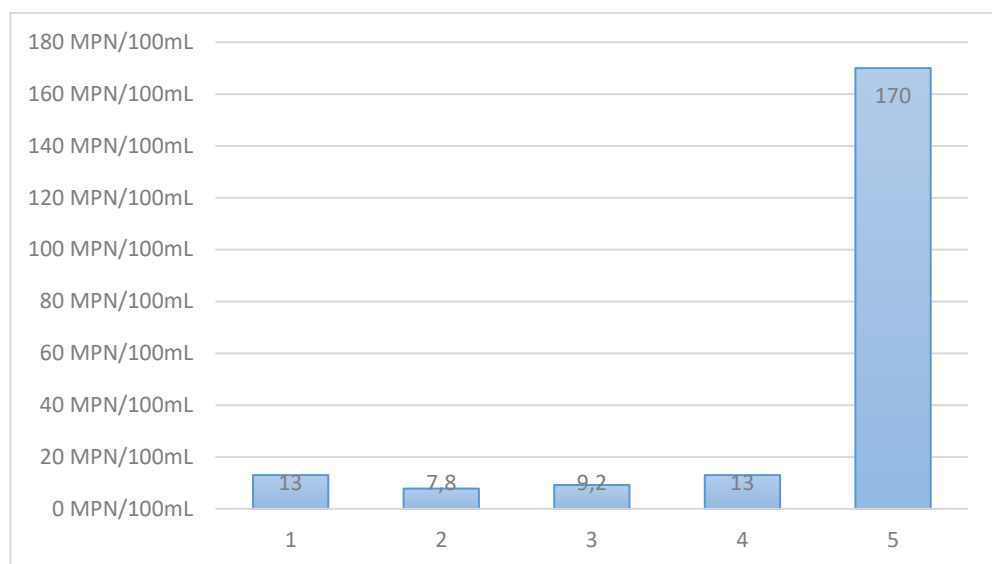
Berdasarkan Permenkes 02/2023, bahwa keberadaan mikroba di air minum harus berjumlah 0 MPN/100 mL, salah satunya *Coliform*. Uji pendugaan dilakukan dengan memasukkan sampel air dengan media LB, setelah itu di inkubasi selama 2x24 jam dengan suhu 35°C. Setelah di inkubasi, hasil positif ditandai dengan adanya gelembung pada tabung durham. Pada pengujian kali ini, dilakukan dua kali pengambilan sampel. Pengambilan pertama sebanyak dua titik, sedangkan pengambilan sampel ke dua sebanyak lima titik. Hal ini didasarkan pada pemetaan jaringan distribusi dari PAMSIMAS Sendangtirto. Sampel tersebut menerima perlakuan yang sama seperti pengujian pertama dengan uji pendugaan menggunakan media LB dan di inkubasi selama 2x24 jam di dalam inkubator. Setelah di inkubasi dan diamati media mana yang menunjukkan hasil positif ditandai dengan adanya gelembung pada tabung durham, maka media tersebut bisa dilanjutkan pada uji penegasan.

Dari hasil inkubasi bahwa total media yang dapat dilanjutkan pengujiannya pada uji penegasan sampel pertama terdapat 17 media dan penegasan sampel kedua terdapat 47 media. Selanjutnya, media yang dinyatakan positif dilakukan inokulasi dengan media BGLB, setelah itu di inkubasi selama 2x24 jam dengan suhu 35°C menggunakan inkubator. Hasil inkubasi yang memiliki hasil positif ditandai dengan adanya gelembung yang memenuhi dari tabung durham, untuk pengujian sampel pertama didapatkan hasil pengujian dengan tidak adanya gelembung pada tabung durham maka jumlah *Coliform* yang terdapat pada

kedua sampel tersebut sebagai mana **Tabel 4.1**. Sedangkan sebagai mana pada **Tabel 4.2**, pengambilan sampel kedua terdapat perbedaan jumlah *Coliform* pada setiap titik pengambilan sampel.

Tabel 4. 2 Hasil Pengamatan Sampel ke-1

Nomor	Parameter	Sampel Uji	
		Air Sumur	Sesudah Disinfeksi
1	<i>Coliform</i>	<1,8	<1,8



Gambar 4. 4 Grafik Jumlah *Coliform* Pengujian Ke - 2

Pengujian *Coliform* dilakukan dengan menggunakan satuan MPN/100 mL, hal ini karena media yang digunakan dalam MPN merupakan tabung reaksi, sedangkan untuk CFU menggunakan cawan sebagai media perhitungan mikroorganisme. Perkiraan CFU didapatkan dari jumlah koloni bakteri yang terlihat dan terbentuk pada media cawan setelah proses penyaringan serta inkubasi. Variasi pada hasil CFU berkurang seiring bertambahnya volume sampel air yang disaring. Oleh karena itu, meskipun hasil estimasi CFU bisa berbeda-beda, tingkat variasinya biasanya lebih kecil dibandingkan dengan estimasi MPN yang diperoleh dari metode tabung ganda (MTF), terutama jika volume alikuot yang digunakan cukup besar (Gronewold & Wolpert, 2008). Hasil inkubasi menunjukkan adanya *Coliform* pada setiap titik uji, jumlah

paling besar dalam pengujian ini terletak pada sampel terakhir yaitu titik terjauh pengambilan sampel sebanyak 170 MPN/100 mL. Hal ini menandakan air yang disalurkan oleh PAMSIMAS setelah melalui proses ozon sebagai teknologi desinfeksi tidak memenuhi syarat wajib parameter mikrobiologis untuk dikonsumsi masyarakat. Mendeteksi keberadaan bakteri di dalam air merupakan salah satu indikator terbaik untuk mengetahui efektivitas dari desinfeksi yang digunakan dalam pengolahan air (Fatemeh et al., 2014). Dapat dilihat bahwa pada hasil uji yang dilakukan, desinfeksi ozon dapat mengurangi bakteri *Coliform* dari 13 MPN/100 mL menjadi 7,8 MPN/100 mL. Namun, hal tersebut tidak menjadikan penggunaan ozon menjadi efektif, hal ini karena sesuai regulasi yang berlaku bahwa jumlah *Coliform* dalam sebuah air minum harus berjumlah 0 MPN/100 mL.

Dalam hal ini, terdapat kemungkinan mengapa ozon yang ada pada PAMSIMAS Sendangtirto tidak mengurangi jumlah bakteri *Coliform* secara efektif atau berjumlah 0 MPN/100 mL. Penggunaan ozon pada PAMSIMAS tidak tepat, seperti adanya pengaturan kadar ozon yang tidak sesuai yang menyebabkan air yang dihasilkan setelah proses desinfeksi masih belum maksimal. Kadar ozon yang disarankan untuk melakukan desinfeksi berkisar 0,3 mg/L hingga 0,9 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh (Rienoviar et al., 2011), yang dilakukan pada air baku bahwa kadar ozon yang mampu menonaktifkan *Coliform* adalah 0,3 ppm atau 0,3 mg/L dan jika kadar ozon kurang dari 0,3 ppm perlu ditambahkan desinfeksi lanjutan contohnya seperti sinar UV.

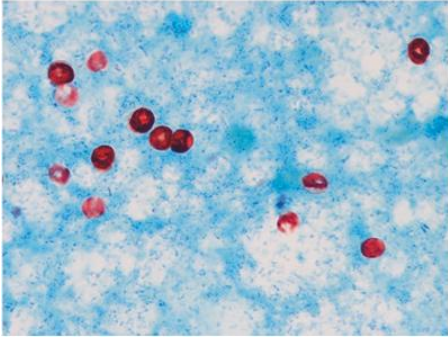
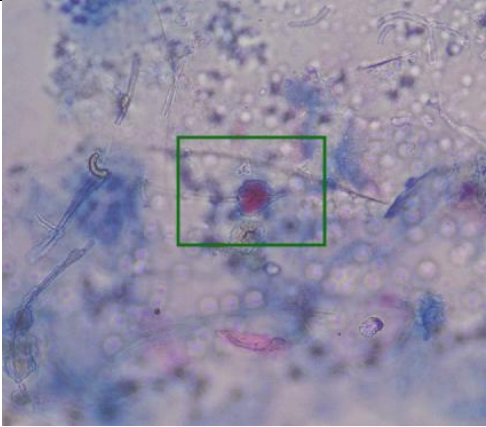
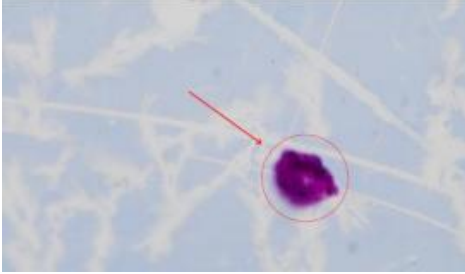
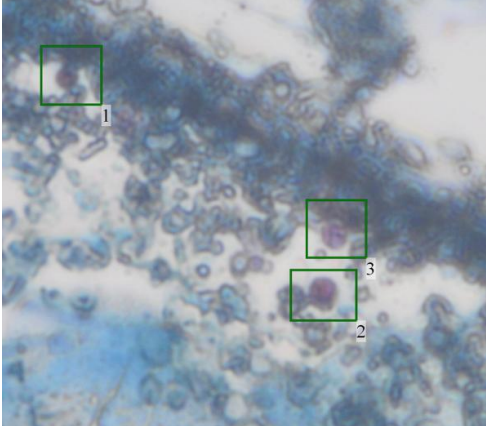
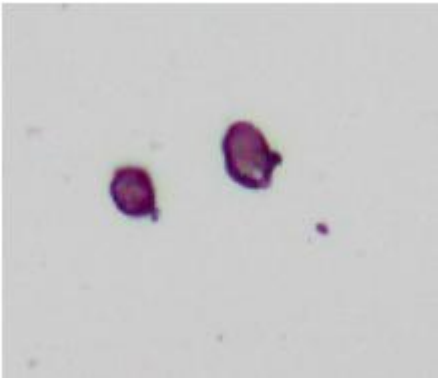
4.2.3 Pengujian Keberadaan *Cryptosporidium*

Pengujian *Cryptosporidium* dilakukan dengan menggunakan metode Ziehl – Neelsen. Pengujian diawali dengan menyiapkan kaca preparat sebagai media dan melakukan pewarnaan asam menggunakan larutan fuchsin, alkohol, dan menggunakan *methylen blue* sebagai proses pewarnaan akhir. Metode ini mempermudah peneliti saat melaksanakan analisis keberadaan *Cryptosporidium*, hal ini karena protozoa akan berwarna merah jika dilihat

menggunakan mikroskop. Dari laporan mengenai *Cryptosporidium* oleh EPA pada tahun 1994, *Cryptosporidium* memiliki ukuran sekitar 4 - 6 μm , adapun penelitian yang dilakukan oleh (Monalisa et al., 2023), bahwa ukuran *Cryptosporidium* berukuran 2 – 8 μm .

Cryptosporidium telah dikenal sebagai penyebab penyakit gastrointestinal yang dapat menyerang orang yang tidak memiliki kekebalan tubuh, protozoa ini dapat menyebabkan penyakit seperti diare, kram perut, mual, muntah, dan demam (Rossle & Latif, 2013). Pada umumnya *Cryptosporidium* menjangkit manusia melalui air minum dan sarana rekreasi air, vaksin untuk protozoa patogen ini belum tersedia tetapi pengobatan penyakit diare yang disebabkan oleh *Cryptosporidium* menggunakan nitazoxanide (Menon et al., 2022).

Dari hasil pengamatan lima sampel menggunakan mikroskop pada **Gambar 4.5**, terdapat *Crptosporidium* yang ditemukan pada sampel air sumur dan sesudah reservoir, namun pada jaringan distribusi tidak terdeteksi adanya keberadaan protozoa tersebut. Namun, dalam penelitian menemukan beberapa bentuk sejenis yang menyerupai *Cryptosporidium*, ragi dan kotoran tinja dapat menjadi warna merah juga tapi biasanya warnanya seragam ke seluruh tubuh serta memiliki ukuran yang kecil (Mead & Arrowood Editors, 2020).

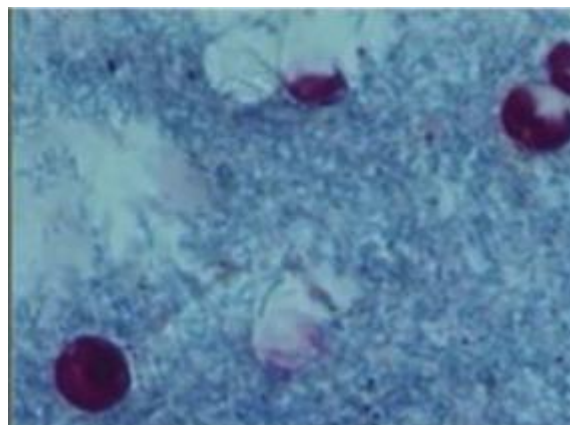
Referensi	Hasil Uji
 Mead & Arrowood Editors (2020)	 Air Sumur <i>Cryptosporidium</i> berdiameter 6,8μm
 Wangi, K.W (2024)	 Air Setelah Reservoir 1. <i>Cryptosporidium</i> berdiameter 5,89μm 2. <i>Cryptosporidium</i> berdiameter 7,64μm 3. <i>Cryptosporidium</i> berdiameter 6,87μm
 Ruhcahyani, F.S (2024)	

Gambar 4. 5 Hasil Pengujian *Cryptosporidium* menggunakan Image Raster

4.2.4 Peningkatan Keakuratan Pengujian *Cryptosporidium*

Dalam melakukan pengujian untuk mendeteksi keberadaan protozoa *Cryptosporidium* terdapat beberapa metode, antara lain menggunakan metode pewarnaan bakteri asam Ziehl-Neelsen. Penelitian saat ini dilakukan dengan metode ZN sebagai metode pengujian. Namun ditemukan beberapa kerancuan dalam melakukan pengujian dan analisis untuk memastikan *Cryptosporidium*, hal ini dikarenakan acuan yang kurang variatif terkait karakteristik protozoa ini. Penelitian ini mengandalkan ciri – ciri morfologi dari protozoa untuk menganalisis keberadaan *Cryptosporidium* yang ada pada sampel uji dan pengamatan yang dilakukan di mikroskop menggunakan pembesaran 40x, yang dimana kurang akurat untuk membuktikan bahwa protozoa yang ditemukan adalah *Cryptosporidium* sehingga minimal per besaran yang dilakukan adalah 100x.

Pewarnaan menggunakan metode *Ziehl-Neelsen* dapat ditemukan beberapa mikroorganisme protozoa maupun bakteri yang ciri – ciri morfologinya menyerupai *Cryptosporidium*. *Cyclospora* dan *Mycobacterium* merupakan protozoa dan bakteri tahan asam lain yang memiliki warna kemerahan sebagai salah satu ciri mikroorganisme tersebut.

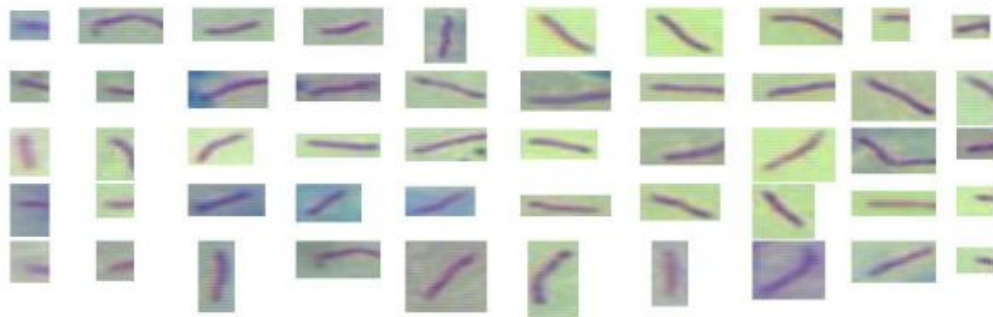


Gambar 4. 6 *Cyclospora oocyst* Pewarnaan Asam
Sumber : Ortega & Robertson (2017)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ortega & Robertson (2017), *Cyclospora* merupakan organisme yang memiliki karakteristik mengapung dan bernoda seperti *Cryptosporidium*, *Cyclospora* yang belum matang memiliki

ukuran 7,7 – 9,9 μm dan berbentuk bulat. Manusia dapat tertular protozoa ini melalui mulut dan protozoa ini dapat ditemukan di tanah, serta sering ditemukan pada makanan dan air yang terkontaminasi. Efek yang ditimbulkan akibat paparan bakteri ini berupa infeksi pada saluran pencernaan yang dapat mengakibatkan diare. Protozoa ini dapat dihitung dengan menyesuaikan kalibrasi pada mikroskop yang akan digunakan.

Menurut Pereira et al. (2020), *Mycobacterium* merupakan salah satu bakteri tahan asam yang memiliki panjang berkisar 1,0 – 10 μm dan memiliki lebar sekitar 0,2 – 0,6 μm . Bakteri ini memiliki dinding sel yang kaya akan lipid yang memungkinkan bakteri ini dibedakan melalui proses pewarnaan setelah asam mikolat yang tinggi membuat organisme tersebut menjadi resistan terhadap penghilang warna yaitu alkohol. Bakteri *Myrobacterium* juga memiliki kemampuan untuk melawan disinfeksi dan tumbuh kembali pada tingginya prevalensi bakteri patogen (Galagoda et al., 2025).



Gambar 4. 7 *Mycobacterium* dengan perbesaran 100x
Sumber : Rachmad et al. (2020)

Penggunaan *Image Raster 3.0* juga menjadi salah satu faktor keakuratan dalam menentukan diameter dari protozoa ini, kalibrasi mikroskop dengan aplikasi *Image Raster* seharusnya dilakukan untuk meningkatkan keakuratan dari analisis ini. Hal ini berpengaruh pada keakuratan pengukuran diameter *Cryptosporidium* yang berkisar antara 2 – 8 μm . Pada penelitian yang dilakukan peneliti mikroskop dan *Image Raster* tidak terkalibrasi, sehingga ukuran yang tercantum pada hasil penelitian memiliki nilai keakuratan yang lebih rendah dibanding jika mikroskop dan *Image Raster* yang terkalibrasi.

Dalam meningkatkan keakuratan pengujian dan hasil analisis, metode pengujian dengan DNA *Extraction* juga dapat menjadi pilihan. Dimana metode ini melakukan ekstraksi pada proses awalnya dengan beberapa opsi seperti *bead-beating* metode gangguan oosit ini menggunakan manik-manik zirkonia yang dikocok dengan sangat cepat pada instrumen seperti FastPrep-24, *freeze–thawing* pembekuan dilakukan dengan nitrogen cair dan pencairan dengan suhu 95°C, *heating* melakukan inkubasi sampel selama 10 menit hingga 1 jam dengan suhu 100°C untuk mengganggu oosit sebelum ekstraksi DNA, dan *chemical/enzyme treatment* DNA mencakup tahap lisis yang melibatkan inkubasi dengan penyangga yang mengandung komponen untuk pencernaan kimiawi atau enzimatik.

4.2.5 Pengaruh Penggunaan Disinfeksi Ozon di PAMSIMAS

PAMSIMAS Sendangtirto memiliki teknologi disinfeksi ozon dalam proses pengolahan air sebelum disebar luaskan ke masyarakat. Hal ini merupakan hal yang baru ada di pengolahan air bersih yang ada di PAMSIMAS Sendangtirto. Penggunaan ozon pada PAMSIMAS sebenarnya sudah sejalan dengan *World Health Organization* yang menyatakan bahwa ozon, ultraviolet, dan klorin merupakan disinfeksi yang sering digunakan dalam melakukan disinfeksi pada air. Menurut keterangan pengelola, pemasangan ozon dilakukan pada tanggal 29 November 2024. Namun, terkait detail informasi ozon yang digunakan pengelola tidak menerima informasi lebih lanjut terkait pemasangan jenis ozon yang digunakan. Penelitian dilakukan kurang lebih satu bulan setelah ozon dipasang pada PAMSIMAS, perangkat ozon dan pompa yang digunakan menggunakan sistem otomatis atau dengan sensor, dimana saat air berkurang pada reservoar maka pompa dan generator akan otomatis menyala.

Tabel 4. 3 Reduksi Kelompok Patogen Teknologi Disinfeksi

Proses Pengolahan	Kelompok Patogen	Minimum Removal	Catatan
Ozon	Virus	2 (Ct_{99} 0,006-0,2 min·mg/L)	Secara general virus lebih bersifat resisten daripada bakteri
	Bakteri	2 (Ct_{99} 0,02 min·mg/L)	
	Protozoa	2 (Ct_{99} 0,5-40 min·mg/L)	Tergantung kepada temperatur: karena jenis <i>Cryptosporidium</i> sangat luas

Sumber : World Health Organization : Drink Water Quality Guide

Keadaan ini berpengaruh pada pengaruh penggunaan ozon sebagai teknologi disinfeksi. Ozon memiliki kadar efektif dalam melakukan disinfeksi, jika kadar ozon yang digunakan kurang dari yang seharusnya. Beberapa literatur seperti (Han et al., 2006), menyatakan bahwa kadar ozon 0,3 mg/L hingga 0,9 mg/L mampu menghilangkan berbagai virus dan mikroorganisme yang ada pada air. Menurut WHO pada **Tabel 4.6**, dengan kadar 0,5 mg/L serta 40 menit waktu disinfeksi mampu menghilangkan protozoa dan pada bakteri dengan konsentrasi ozon yang kecil dapat menghilangkan bakteri seperti *E. coli*.

Jika dilihat dari hasil uji dan pengamatan, masih adanya *Coliform* dan *Cryptosporidium* pada air sumur dan setelah reservoir menandakan penggunaan ozon pada PAMSIMAS Sendangtirto belum optimal. Kadar ozon perlu disesuaikan dengan mengacu standar yang telah ditentukan. Hal ini jika dilakukan berkepanjangan akan berakibat pada keefektifan penggunaan disinfeksi dimana biaya elektrikal yang dikeluarkan juga cukup besar untuk penggunaan disinfeksi dan pompa. Bila berkepanjangan tentu akan menyebabkan timbulnya penyakit pada manusia, dimana sebagian besar masalah kesehatan berhubungan dengan kontaminasi dari mikroba.

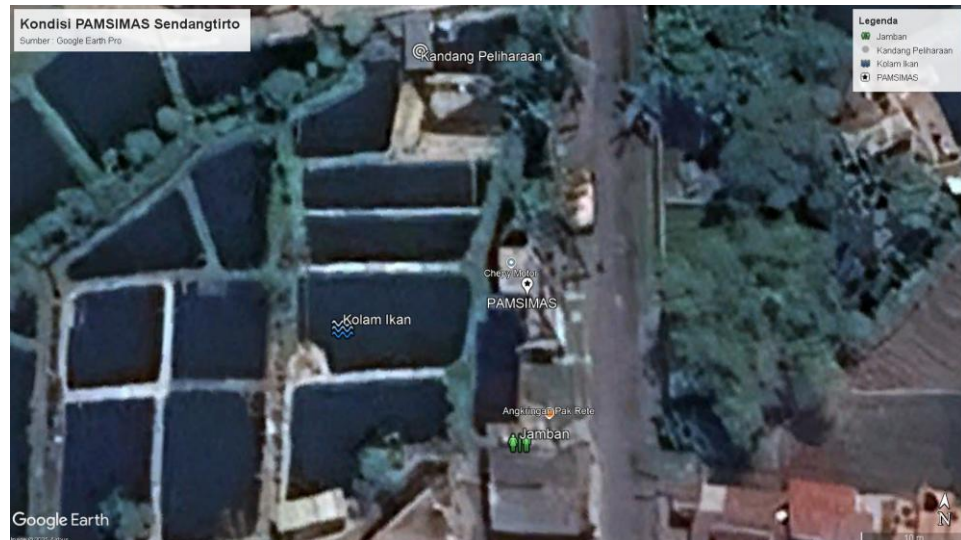
Penggunaan alat disinfeksi juga perlu diperhatikan oleh pihak pengelola, terkait spesifikasi alat ozon yang mampu melakukan disinfeksi optimal sesuai kondisi eksisting PAMSIMAS. Dengan alat disinfeksi ozon yang terdapat pada PAMSIMAS yaitu jenis VOSOCO Ozone Generator Water Air Purifier Sterilizer 1000 mg/h dengan model AZ-1000MG-G, dengan spesifikasi tersebut paparan ozon yang diberikan terhadap air di reservoir dengan volume 28,8 m³ selama 1 jam menghasilkan 0,03 ppm. Maka, dibutuhkan 8 unit untuk mencapai paparan minimum untuk disinfeksi yaitu 0,3 ppm. Perawatan pada sumur yang digunakan sebagai sumber air baku juga dapat diterapkan, untuk mengurangi kontaminasi mikroba pada sumber air baku. Dalam literatur yang diterbitkan WHO (Medema & Deere, 2009), terdapat beberapa jenis *treatment* yang dapat dijadikan opsi pengolahan, salah satunya pre-treatment berupa filtrasi. Biofiltrasi dapat menjadi pilihan teknologi filtrasi yang bisa diterapkan pada PAMSIMAS Sendangtirto. Biofiltrasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerjanya, diantaranya adalah faktor fisik, kimia, dan biologi (Danila et al., 2022).

Pada dasarnya kondisi air baku di PAMSIMAS memiliki kualitas fisik yang masih di bawah batas baku mutu yang ditetapkan oleh Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Namun, pada musim penghujan air yang dipompa dari sumur mengalami kekeruhan yang cukup pekat, sehingga dapat disarankan sistem filtrasi untuk treatment tambahan untuk teknologi yang ada di pengolahan PAMSIMAS. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Nur et al., 2023), menyatakan bahwa penurunan nilai kekeruhan dapat dilakukan dengan meningkatkan kadar ozon dan waktu kontak ozon.

4.2.6 Analisis Keberadaan *Coliform* di PAMSIMAS

Bakteri *Coliform* dapat menyebabkan penyakit yang cukup serius seperti gastroenteritis dan diare, hal ini disebabkan karena adanya cemaran pada air yang dikonsumsi dari septik tank, air limbah yang tidak diolah, dan lain – lain (Seo et al., 2019). Adapun *Coliform* dapat bersumber dari kotoran ternak, air yang terkontaminasi, maupun manajemen pengelolaan ternak yang dapat menyebabkan jumlah bakteri ini meningkat (Soares et al., 2023). Kondisi yang

dijelaskan terkait keberadaan *Coliform* pada air, dikaitkan dengan adanya bakteri tersebut pada air sumur dan jaringan distribusi di PAMSIMAS Sendangtirto.



Gambar 4. 8 Kondisi Area Sekitar PAMSIMAS

Sumber : Google Earth Pro

Dalam air sumur ditemukan *Coliform* sebanyak 13 MPN/100 mL, dimana adanya *Coliform* pada air bisa menjadi salah satu faktor kualitas air tersebut. Air yang tercemar bisa menjadi media untuk mikroba patogen, umumnya melalui rembesan yang berasal dari tempat pembuangan kotoran manusia dan hewan maupun dari limbah air sumur itu sendiri (Nafadlillah et al., 2024). Pada **Gambar 4.3** diketahui bahwa PAMSIMAS Sendangtirto dikelilingi oleh kolam ikan yang terbuka, tidak jauh dari situ ada jamban milik usaha bengkel yang airnya dibuang ke dekat kolam dan terdapat kandang ternak warga dimana kotoran hewan tersebut dapat mempengaruhi adanya *Coliform* di dalam air yang dapat menyerap melalui tanah.

Pada jaringan distribusi, jumlah bakteri *Coliform* terus meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, menurut (Gleeson & Gray, 1996) adanya *Coliform* pada jaringan distribusi disebabkan hilang atau kurangnya kadar disinfeksi, selain itu *Coliform* yang terluka dapat memulihkan diri pada jaringan distribusi dan jumlah *Coliform* pada jaringan distribusi dapat

ditemukan lebih banyak meskipun pada instalasi penyediaan air minum sangat sedikit jumlahnya. Selain itu, menurut penelitian yang dilakukan oleh Asamoah Sakyi et al. (2012) menyatakan bahwa berkembangnya kuantitas *Coliform* pada jaringan perpipaan karena adanya nutrisi organik yang berupa bahan organik alami yang terbawa dari sumber air baku, kebocoran yang terjadi di jaringan perpipaan, dan adanya degradasi dari material pipa. Jumlah *Coliform* yang menumpuk pada titik akhir sampel dapat juga disebabkan oleh Penelitian yang dilakukan (Rusydi et al., 2015), menyatakan bahwa pada pemukiman yang padat dan intensifnya penggunaan pupuk dapat menyebabkan air tercemar oleh senyawa solid, nitrogen, dan bakteri *Coliform*.

4.2.7 Analisis Keberadaan *Cryptosporidium* di PAMSIMAS

United States Environmental Protection Agency (US EPA) menyatakan, bahwa *Cryptosporidium* dapat menyebar dari orang ke orang maupun dari keberadaan hewan ternak. Penularan lainnya dapat berupa benda mati ataupun sarana rekreasi seperti kolam renang. Penularan *Cryptosporidium* dapat ditularkan melalui infeksi dari pembawa mekanis seperti serangga, burung, manusia, dan air yang terkontaminasi (EPA, 1994). Tentu hal ini menjadi sebuah perbandingan kondisi dimana PAMSIMAS Sendangtirto memiliki kondisi yang memungkinkan untuk adanya potensi pencemaran *Cryptosporidium* pada air pengolahan.

Keberadaan kolam ikan di sekitar sumber air baku untuk PAMSIMAS bisa menjadi salah satu faktor keberadaan *Cryptosporidium* dalam air sumur. Kondisi kolam yang terbuka memungkinkan adanya kontaminasi air oleh air limbah, kotoran serangga, burung, dan manusia yang menyebabkan air yang ada di kolam terpapar protozoa patogen *Cryptosporidium*. Dalam *Risk Assesment of Cryptosporidium in Drinking Water* yang diterbitkan oleh WHO tahun 2009, menyatakan bahwa proses infiltrasi air permukaan yang menjadikan protozoa patogen ini masuk kedalam sumur sebagai sumber air baku, ditambah jarak antara kolam ikan dengan sumber air baku yang tidak terlalu jauh sehingga memudahkan proses pencemaran melalui infiltrasi.

Sifat ookista dari *Cryptosporidium* membuatnya tahan dari segala perubahan lingkungan yang ada, protozoa patogen ini sangat tahan terhadap disinfeksi kimiawi dan tidak terpengaruh oleh klorin, kloramin, dan klorin dikosida yang diizinkan dalam pengolahan air minum. PAMSIMAS Sendangtirto menggunakan ozon sebagai disinfeksi, hal ini cukup baik dalam menghilangkan *Cryptosporidium*. Di samping itu, ozon dengan paparan yang berlebihan akan menyebabkan air bersifat genotoksik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti dapat menyimpulkan terkait keberadaan *Coliform* dan *Cryptosporidium* pada PAMSIMAS Sendangtirto sebagai berikut :

1. Hasil analisis menyatakan bahwa *Cryptosporidium* ditemukan pada sumber air baku dan setelah reservoir, analisis keberadaan protozoa patogen pada air sumur dan setelah reservoir dapat disebabkan oleh adanya peternakan ikan atau kolam ikan yang terbuka, sehingga dapat menyebabkan kontaminan *Cryptosporidium* mencemari air kolam dan mengalami proses infiltrasi hingga tercampur air sumur. Keberadaan *Cryptosporidium* pada air setelah reservoir menyimpulkan bahwa disinfeksi ozon pada PAMSIMAS belum efektif, belum adanya pemantauan terkait konsentrasi ozon yang diberikan terhadap proses disinfeksi dapat menjadi penyebab ke tidak efektifkan disinfeksi.
2. Keberadaan dan jumlah *Coliform* pada air sumur dan sistem jaringan menandakan kualitas air yang buruk. Pada air sumur keberadaan *Coliform* dapat disebabkan oleh adanya air kolam ikan yang ada di dekat sumur. Sedangkan pada jaringan distribusi penyebab adanya *Coliform* disebabkan hilang atau kurangnya kadar disinfeksi, selain itu *Coliform* yang terluka dapat memulihkan diri pada jaringan distribusi dan jumlah *Coliform* pada jaringan distribusi dapat ditemukan lebih banyak. Disinfeksi ozon masih kurang efektif untuk menghilangkan *Coliform* pada PAMSIMAS, hal ini dapat disebabkan kurangnya pemantauan pengelola terkait kadar ozon untuk disinfeksi sehingga proses disinfeksi kurang maksimal.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait menghitung keberadaan *Cryptosporidium* dan klasifikasi protozoa patogen pada air, sehingga data yang disajikan lebih akurat.
2. Perlu adanya pemantauan terkait kadar ozon yang dimasukkan ke dalam reservoir sebagai disinfektan agar proses analisis data terkait disinfeksi berjalan dengan efektif.
3. Penggunaan per besaran lebih besar pada mikroskop untuk keakuratan data terkait protozoa *Cryptosporidium*.

DAFTAR PUSTAKA

- Asadi, E., Isazadeh, M., Samadianfard, S., Ramli, M. F., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Hajnal, E., & Chau, K. W. (2020). Groundwater Quality Assessment for Sustainable Drinking and Irrigation. *Sustainability* (Switzerland), 12(1). <https://doi.org/10.3390/su12010177>
- Asamoah Sakyi, P., Asare, R., Anani, C., & Boakye Dampare, S. (2012). Nutrient-Induced Growth of Coliform and HPC Bacteria in Drinking-Water Pipes. *Journal of Environmental Protection*, 03(06), 508–517. <https://doi.org/10.4236/jep.2012.36061>
- Bruno, A., Agostinetto, G., Fumagalli, S., Ghisleni, G., & Sandionigi, A. (2022). It's a Long Way to the Tap: Microbiome and DNA-Based Omics at the Core of Drinking Water Quality. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 13). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137940>
- Cervero-Aragó, S., Desvars-Larrive, A., Lindner, G., Sommer, R., Häfeli, I., & Walochnik, J. (2021). Surface Waters and Urban Brown Rats as Potential Sources of Human-Infective *Cryptosporidium* and *Giardia* in Vienna, Austria. *Microorganisms*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081596>
- Chen, J., Loeb, S., & Kim, J. H. (2017). LED revolution: Fundamentals and Prospects for UV Disinfection Applications. In *Environmental Science: Water Research and Technology* (Vol. 3, Issue 2, pp. 188–202). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c6ew00241b>
- Couso-Pérez, S., Abeledo-Lameiro, M. J., Vidal-Varela, A. I., & Gómez-Couso, H. (2023). Removal of the Waterborne Parasite *Cryptosporidium parvum* from Drinking Water Using Granular Activated Carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111185>
- Danila, V., Zagorskis, A., & Januševičius, T. (2022). Effects of Water Content and Irrigation of Packing Materials on the Performance of Biofilters and Biotrickling Filters: A Review. In *Processes* (Vol. 10, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/pr10071304>
- Epa, U. (1994). *Cryptosporidium: Drinking Water Health Advisory*. www.epa.gov
- Fatemeh, D., Reza, Z. M., Mohammad, A., Salomeh, K., Reza, A. G., Hossein, S., Maryam, S., Azam, A., Mana, S., Negin, N., Reza, K. A., & Saeed, F.

- (2014). Rapid Detection of *Coliforms* in Drinking Water of Arak city Using Multiplex PCR Method in Comparison with the Standard Method of Culture (Most Probably Number). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(5), 404–409. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C896>
- Galagoda, R., Cha, G., Hara-Yamamura, H., Honda, R., Konstantinidis, K. T., & Matsuura, N. (2025). Genomic Insights into Chlorine Resistance of a *Mycobacterium* sp. Strain Isolated from Treated Wastewater Effluent. *Water Research*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123807>
- Gleeson, C., & Gray, N. (n.d.). *The Coliform Index and Waterborne Disease: Problems of Microbial Drinking Water Assessment*. <http://www.thomson.com>
- Gronewold, A. D., & Wolpert, R. L. (2008). Modeling the Relationship Between Most Probable Number (MPN) and Colony-Forming Unit (CFU) Estimates of Fecal *Coliform* Concentration. *Water Research*, 42(13), 3327–3334. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.011>
- Grönwall, J., & Danert, K. (2020). Regarding Groundwater and Drinking Water Access Through a Human Rights Lens: Self-Supply as a norm. *Water (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020419>
- Guo, Y., Tang, K., Rowe, L. A., Li, N., Roellig, D. M., Knipe, K., Frace, M., Yang, C., Feng, Y., & Xiao, L. (2015). Comparative Genomic Analysis Reveals Occurrence of Genetic Recombination in Virulent *Cryptosporidium Hominis* Subtypes and Telomeric Gene Duplications in *Cryptosporidium parvum*. *BMC Genomics*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1517-1>
- Han, J. H., Soo Oh, B., Choi, S. Y., Kwon, B. C., Hyun Sohn, M., Kim, K. E., & Kang, J. W. (2006). Killing Effect of Ozone on House Dust Mites, the Major Indoor Allergen of Allergic Disease. *Ozone: Science and Engineering*, 28(3), 191–196. <https://doi.org/10.1080/01919510600689679>
- Kurnia Naufutomo, T., & Sentiani Muntalif, B. (2017). *Cryptosporidium sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus: Hulu Sungai Citarum, Kabupaten Bandung)*.
- Kusumastuti, D. (2022). *Pedoman Umum PAMSIMAS*. Sekretariat CPMU Pamsimas.
- Leclerc, H., Mossel, D. A. A., Edberg, S. C., & Struijk, C. B. (2001). *Advances In The Bacteriology Of The Coliform Group: Their Suitability as Markers of Microbial Water Safety*. www.annualreviews.org

- Levallois, P., & Villanueva, C. M. (2019). Drinking water quality and human health: An editorial. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 16, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040631>
- Lipps, W. C., Braun-Howland, E. B., & Baxter, T. E. (2022). *William C. Lipps, Ellen Burton Braun-Howland, Terry E. Baxter - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24th Edition 24* (2022, American Public Health Association (24th ed.). American Public Health Association.
- Lo, W., Purnomo, S. N., Sarah, D., Aghnia, S., & Hardini, P. (2021). Groundwater modelling in urban development to achieve sustainability of groundwater resources: A case study of semarang city, indonesia. *Water (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/w13101395>
- Mead, J. R., & Arrowood Editors, M. J. (n.d.-a). *Crypto-sporidium Methods and Protocols Methods in Molecular Biology* 2052. <http://www.springer.com/series/7651>
- Mead, J. R., & Arrowood Editors, M. J. (n.d.-b). *Crypto-sporidium Methods and Protocols Methods in Molecular Biology* 2052. <http://www.springer.com/series/7651>
- Medema, G., & Deere, D. (2009). *Risk Assessment of Cryptosporidium in Drinking Water Risk Assessment of Cryptosporidium in Drinking-water*.
- Menon, V. K., Okhuysen, P. C., Chappell, C. L., Mahmoud, M., Meng, Q., Doddapaneni, H., Vee, V., Han, Y., Salvi, S., Bhamidipati, S., Kottapalli, K., Weissenberger, G., Shen, H., Ross, M. C., Hoffman, K. L., Cregeen, S. J., Muzny, D. M., Metcalf, G. A., Gibbs, R. A., ... Sedlazeck, F. J. (2022). Fully resolved assembly of *Cryptosporidium parvum*. *GigaScience*, 11. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giac010>
- Monalisa, N., Athailah, F., & Iskandar, D. (2023). Identifikasi *Cryptosporidium* Spp. pada Kambing Kacang (*Capra Aegagrus Hircus*) Di Kecamatan Syiah Kuala Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*.
- Moreno-Mesonero, L., Soler, P., Alonso, J. L., Macián, V. J., & Moreno, Y. (2024). Assessment of Pathogenic Protozoa in a Drinking Water Treatment Plant with UV Treatment. *Journal of Environmental Management*, 366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121897>
- Nafadlillah, U., Artanti, D., Rahmawati Samsudin, R., Eka Sisipita Sari, Y., & Fitrah Juniawan, M. (n.d.). Perbandingan Uji *Coliform* Air Sumur dan PDAM di Daerah Sutorejo.

- Nur, M., Saud, I. L., & Nurhayati, E. (n.d.). *Preozonasi Sebagai Pretreatment Air Baku: Studi Kasus Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Ngagel I Kota Surabaya*. <http://envirotek.upnjatim.ac.id/>
- Oktavia, S., Fakultas, N., Universitas, K. M., Departemen, A., & Lingkungan, K. (n.d.). Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun.
- Ortega, Y. R., & Robertson, L. J. (n.d.). *SPRINGER BRIEFS IN FOOD, HEALTH, AND NUTRITION* 123. <http://www.springer.com/series/10203>
- Pereira, A. C., Ramos, B., Reis, A. C., & Cunha, M. V. (2020). Non-tuberculous mycobacteria: Molecular and physiological bases of virulence and adaptation to ecological niches. In *Microorganisms* (Vol. 8, Issue 9, pp. 1–49). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091380>
- Pignata, C., Bonetta, S., Bonetta, S., Cacciò, S. M., Sannella, A. R., Gilli, G., & Carraro, E. (2019). *Cryptosporidium oocyst* Contamination in Drinking Water: A case study in Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph16112055>
- Rachmad, A., Chamidah, N., & Rulaningtyas, R. (2020). *Mycobacterium tuberculosis* Images Classification Based on Combining of Convolutional Neural Network and Support Vector Machine. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, 2020, 1–13. <https://doi.org/10.28919/cmbn/5035>
- Rienoviar, S. A., Agustini, S., Rienoviar, D., Riset, B., Standardisasi, D., Palembang, I., Besar, B., & Agro Bogor, I. (2011). Diajukan: 21. In *Maret* (Issue 2).
- Rossle, N. F., & Latif, B. (2013). Cryptosporidiosis as threatening health problem: A review. In *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* (Vol. 3, Issue 11, pp. 916–924). [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60179-3](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60179-3)
- Rubino, F., Corona, Y., Pérez, J. G. J., & Smith, C. (2019). Bacterial contamination of drinking water in guadalajara, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph16010067>
- Rusydi, A. F., Naili, W., & Lestiana, H. (2015). Pencemaran Limbah Domestik dan Pertanian Terhadap Airtanah Bebas Di Kabupaten

- Bandung. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 25(2), 87. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2015.v25.201>
- Sandle, T. (2016). *Pharmaceutical Microbiology Essentials for Quality Assurance and Quality Control*. WOOD HEAD.
- Seo, M., Lee, H., & Kim, Y. (2019). Relationship Between *Coliform* bacteria and Water Quality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea. *Water (Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/w11061171>
- Snelling, W. J., Xiao, L., Ortega-Pierres, G., Lowery, C. J., Moore, J. E., Rao, J. R., Smyth, S., Millar, B. C., Rooney, P. J., Matsuda, M., Kenny, F., Xu, J., & Dooley, J. S. G. (2007). Cryptosporidiosis in developing countries. In *J Infect Developing Countries* (Vol. 1, Issue 3).
- Soares, A. S., Miranda, C., Coelho, A. C., & Trindade, H. (2023). Occurrence of Coliforms and Enterococcus Species in Drinking Water Samples Obtained from Selected Dairy Cattle Farms in Portugal. *Agriculture (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture13040885>
- Sunarti, R. N. (2015). *Uji Kualitas Air Sumur Dengan Menggunakan Metode MPN (Most Probable Numbers)*. 1(1).
- Swastomo, A. S., & Iskandar, D. A. (2020). Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Minum Pedesaan Berbasis Masyarakat. *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian Dan Pengembangan*, 4(2), 14. <https://doi.org/10.32630/sukowati.v4i2.131>
- Tlili-Zrelli, B., hamzaoui-Azaza, F., Gueddari, M., & Bouhlila, R. (2013). Geochemistry and Quality Assessment of Groundwater Using Graphical and Multivariate Statistical Methods. A case study: Grombalia phreatic aquifer (Northeastern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 6(9), 3545–3561. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0617-3>
- Tzipori, S., & Ward, H. (2002). *Cryptosporidiosis: biology, pathogenesis and disease*. www.elsevier.com/locate/micinf
- Utami, T. F., & Miranti, M. (2020). Metode Most Probable Number (MPN) Sebagai dasar Uji Kualitas Air Sungai Rengganis dan Pantai Timur Pangandaran Dari Cemarkan *Coliform* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada : Jurnal Ilmu Ilmu Keperawatan, Analis Kesehatan Dan Farmasi*.
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., & Yuan, Z. (2020). Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinkingwater Quality-A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12062249>

WHO. (2022). *Guidelines for Drinking-Water Quality*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Table *Most Probable Number*

MULTIPLE-TUBE FERMENTATION TECHNIQUE (9221)/Estimation of Bacterial Density

TABLE 9221:IV. MPN INDEX AND 95% CONFIDENCE LIMITS FOR VARIOUS COMBINATIONS OF POSITIVE RESULTS WHEN FIVE TUBES ARE USED PER DILUTION (10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL)*

Combination of Positives	MPN Index/100 mL	Confidence Limits		Combination of Positives	MPN Index/100 mL	Confidence Limits	
		Low	High			Low	High
0-0-0	<1.8	—	6.8	4-0-3	25	9.8	70
0-0-1	1.8	0.090	6.8	4-1-0	17	6.0	40
0-1-0	1.8	0.090	6.9	4-1-1	21	6.8	42
0-1-1	3.6	0.70	10	4-1-2	26	9.8	70
0-2-0	3.7	0.70	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5.5	1.8	15	4-2-0	22	6.8	50
0-3-0	5.6	1.8	15	4-2-1	26	9.8	70
1-0-0	2.0	0.10	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4.0	0.70	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6.0	1.8	15	4-3-0	27	9.9	70
1-1-0	4.0	0.71	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6.1	1.8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8.1	3.4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6.1	1.8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8.2	3.4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8.3	3.4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3.5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	11	3.5	22	5-0-0	23	6.8	70
2-0-0	4.5	0.79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6.8	1.8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9.1	3.4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6.8	1.8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9.2	3.4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4.1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9.3	3.4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4.1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5.9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4.1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5.9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5.9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7.8	2.1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3.5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5.6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3.5	26	5-3-3	170	70	400
3-1-1	14	5.6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6.0	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5.7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6.8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6.8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6.8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6.8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9.8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6.8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9.8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9.8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4.1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5.9	36	5-5-5	>1600	700	—
4-0-2	21	6.8	40				

* Results to two significant figures.

Sumber: *Standard Methode for Examination Water and Waste Water 2017*

Lampiran 2 Pengambilan Sampel Pada Air Sumur



Lampiran 3 Pengambilan Sampel Setelah Disinfeksi



Lampiran 4 Pengambilan Sampel di Loop 1



Lampiran 5 Pengambilan Sampel di Loop 2



Lampiran 6 Pengambilan Sampel di Titik Terjauh



Lampiran 7 Alat dan Bahan Pada Saat Pengujian

Nomor	Keterangan	Jumlah	Satuan
	Alat		
1	Pipet steril 1 mL	1	buah
2	Pipet steril 10 mL	1	buah
3	Pembakar bunsen	1	buah
4	Botol kaca gelap steril	7	buah
5	Kaca preparat	5	buah
6	Tabung ukur 10 mL	1	buah
7	Tabung durham	210	buah
8	Tabung reaksi	210	buah
9	Erlenmeyer	2	buah
10	Ose	1	buah
11	Oven	1	unit
12	Autoklaf	1	unit
13	Inkubator	1	unit
Bahan			
1	Sample air dari PAMSIMAS		
2	<i>Counterstrain</i>		
3	Larutan Basic Fucshin		
4	<i>Decolorizing Solvent</i>		
5	<i>Brilliant Green Lactose Broth</i>		
6	<i>Lactose Broth medium</i>		

RIWAYAT HIDUP

Penulis laporan tugas akhir ini bernama Ridho Nurfajri yang lahir di Kuningan, 19 Juli 2003 merupakan anak kedua dari Bapak Majani dan Ibu Eli Uhti Laela. Penulis menempuh pendidikan menengah terakhir di SMAN 2 Kuningan. Kemudian penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi pada tahun 2021 di program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.