



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Evaluasi Sistem Disinfeksi pada IPA (Instalasi Pengolahan Air) Minomartani, PERUMDA Tirta Sembada, Sleman

Restu Magfirah

21513137

Dosen Pembimbing:

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

Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Desain Inovasi

Universitas Islam Indonesia

2026



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Evaluation of the Disinfection System at the IPA (Water Treatment Plant) of the Minomartani, PERUMDA Tirta Sembada, Sleman

Restu Magfirah

21513137

Supervisor:

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

Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Engineering and Innovation Design

Universitas Islam Indonesia

2026

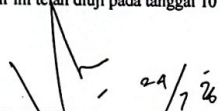
LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Evaluasi Sistem Disinfeksi pada IPA (Instalasi Pengolahan Air)
Minomartani, PERUMDA Tirta Sembada, 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.

Restu Magfirah
21513137

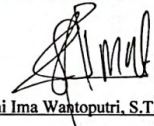
Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 10 Juli 2026 dan disetujui oleh:

 29/7/26
Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M.

(Pembimbing 1)

 23/07/2026
Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)


Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

(Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 29 Mei 2026

Ya



Restu Magfirah
21513137

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Sistem Disinfeksi pada IPA (Instalasi Pengolahan Air) Minomartani, Sleman”.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menerima banyak bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Hery Haryono dan Ibu Musaadatul Uhro selaku orang tua, serta saudara-saudara penulis, Shafa Anugerah selaku kakak, dan Rafi Saputra selaku Adik , yang memberikan doa, tenaga, dukungan moral maupun material yang tak terhingga selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini. Terimakasih atas kasih sayang, kesabaran, dan pengorbanan yang selalu menjadi sumber kekuatan bagi penulis.

2. Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M. selaku dosen Pembimbing 1, atas segala arahan, perhatian, dan ilmu yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan.

3. Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen Pembimbing 2, atas dukungan, evaluasi, dan bimbingan yang sangat membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

4. Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku Penguji, atas kritik dan saran konstruktif yang sangat berharga untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

5. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, yang telah memberikan dukungan dan kesempatan kepada penulis selama masa studi.

6. Seluruh Dosen, dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang memberikan penulis ilmu, informasi, serta fasilitas selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan.

7. Teman-teman terdekat penulis Diana Intan Permana dan Al Hayyu Kumala Lailawati sebagai teman sekaligus partner penulis dalam menyusun tugas akhir, telah menemani sejak awal perkuliahan hingga masa penyusunan tugas akhir ini. Terimakasih atas semangat, dukungan, dan kebersamaan yang tak ternilai selama perjalanan ini.

8. Teman-teman SMA penulis dari Bangka Belitung, Lidiya Erlinda, Iola Larissa, Marsella Amelia, Ersya Putri Felisha, Jilan Afiffah, dan teman-teman lainnya yang tak dapat saya sebutkan satu persatu. Terimakasih atas semua dukungan dari awal masa perkuliahan.

9. Teman-teman angkatan 2021 yang membantu penulis selama perkuliahan.

Sleman, 29 Mei 2026

Restu Magfirah

Evaluasi Sistem Disinfeksi pada IPA (Instalasi Pengolahan Air) Minomartani, PERUMDA Tirta Sembada, Sleman

Mahasiswa : Restu Magfirah
NIM : 21513137
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M.
Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Kualitas air minum pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh efektivitas proses desinfeksi dalam mempertahankan konsentrasi sisa klorin hingga sampai ke pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sisa klorin, tekanan jaringan distribusi, dan total coliform pada sistem distribusi air minum IPA Minomartani, Sleman, serta mengevaluasi hasil pengukuran lapangan menggunakan *EPANET*. Pengukuran sisa klorin dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan reagen *diethyl-p-phenylenediamine* (DPD), sedangkan total coliform diuji menggunakan metode MPN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klorin berkisar antara 0,471–0,5 mg/L dan masih memenuhi standar minimum 0,2 mg/L sesuai PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023. Hasil pemeriksaan total coliform juga memenuhi baku mutu yang berlaku. Simulasi *EPANET* menunjukkan konsentrasi klorin relatif stabil selama 24 jam dengan perbedaan yang kecil dibandingkan hasil pengukuran lapangan memiliki perbedaan sebesar 1,4 %. Secara umum, sistem desinfeksi IPA Minomartani masih memenuhi standar kualitas air minum dan mampu menjaga kualitas air hingga ke pelanggan.

Kata kunci: sisa klorin, desinfeksi, spektrofotometri DPD, *EPANET*, jaringan distribusi, total *coliform*

Evaluation of the Disinfection System at the IPA (Water Treatment Plant) of the Minomartani, PERUMDA Tirta Sembada, Sleman

Student : Restu Magfirah
Student Number : 21513137
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M.
Dhandun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Abstract

The quality of drinking water in a distribution network is influenced by the effectiveness of the disinfection process in maintaining residual chlorine concentration until it reaches consumers. This study aimed to analyze residual chlorine, distribution system pressure, and total coliform in the drinking water distribution system of IPA Minomartani, Sleman, and to evaluate field measurement results using EPANET modeling. Residual chlorine was measured using the UV-Vis spectrophotometric method with diethyl-p-phenylenediamine (DPD) reagent, while total coliform was analyzed using the MPN method. The results showed that residual chlorine concentrations ranged from 0.471–0.5 mg/L and met the minimum standard of 0.2 mg/L according to the Indonesian Ministry of Health Regulation Number 2 of 2023. Total coliform examination also complied with the applicable quality standards. EPANET simulation results indicated relatively stable chlorine concentrations over 24 hours with only minor differences compared to field measurements with differences 1,4 %. Overall, the disinfection system at IPA Minomartani met drinking water quality standards and was able to maintain water quality up to the consumer level.

Key words: residual chlorine, disinfection, DPD spectrophotometry, EPANET, distribution network, total coliform

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Perumusan Masalah.....	16
1.3 Tujuan Penelitian.....	16
1.4 Manfaat Penelitian.....	16
1.5 Ruang Lingkup	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	18
2.1 Sistem Penyediaan Air Minum.....	18
2.2 Standar Kualitas Air	19
2.3 Proses Pengolahan Air Minum	21
2.4.1 Pengambilan Air Baku	21
2.4 Disinfeksi	23
2.5 Proses Klorinasi.....	24
2.5.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Klorinasi.....	25
2.6 <i>Break Point Chlorination (BPC)</i>	25
2.7 Analisis Bakteri Total <i>Coliform</i> dengan <i>Most Probable Number</i> (MPN).....	27
2.8 Pemodelan <i>EPANET 2.2</i>	29
2.9 Penelitian Terdahulu	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan.....	33
3.2 Pengumpulan Data.....	33
3.2.1 Data dan Parameter yang Diuji	33

3.2.2 Waktu dan Lokasi	35
3.2.3 Alat dan Bahan	35
3.3 Analisis Data	36
3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sample	37
3.5 Pengukuran Parameter Klorin	38
3.5.1 Perhitungan Konsentrasi Klorin	40
3.6 Pengujian Bakteri Total <i>Coliform</i>	43
3.7 Analisis <i>EPANET 2.2</i>	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Kondisi Umum PERUMDA Tirta Sembada IPA Minomartani	47
4.1.1 Kualitas Air Baku IPA Minomartani	51
4.2 Tekanan Air Wilayah Penelitian	51
4.3 Total Bakteri Coliform	55
4.4 Klorinasi	56
4.5 Pemodelan <i>EPANET</i>	61
4.6 Identifikasi Masalah dan Rekomendasi	64
BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	72
RIWAYAT HIDUP	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria Air Bersih	19
Tabel 2. 2 Standar Kebutuhan Air Minum.....	20
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	30
 Tabel 3. 1 Jenis Data Penelitian	 36
 Tabel 4. 1 Data Sekunder Kualitas Air Baku IPA Minomartani	 51
Tabel 4. 2 Rata-Rata Tekanan Air	52
Tabel 4. 3 Data Elevasi Titik Sampling dan Tekanan	52
Tabel 4. 4 Konsentrasi Rata-Rata Sisa Klorin	59
Tabel 4. 5 Data Primer dan Sekunder Jaringan Distribusi.....	61
Tabel 4. 6 Perhitungan Koefisien Penurunan Sisa Klor	62
Tabel 4. 7 Identifikasi Permasalahan dan Rekomendasi	65
Tabel 4. 8 Total Head dan Head Tekanan.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Berfikir Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Titik Sampling	37
Gambar 3. 3 Peta Jalur Air Sampling.....	38
Gambar 3. 4 Peta Jaringan Pipa	39
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengukuran Klorin	40
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengujian Total <i>Coliform</i>	44
Gambar 3. 7 Diagram Analisis EPANET.....	46
 Gambar 4. 1 Lokasi IPA Minomartani.....	 49
Gambar 4. 2 Skema IPA Minomartani.....	50
Gambar 4. 3 Perbandingan Tekanan, Jarak, dan Sisa Klorin	53
Gambar 4. 4 Klorin (Sodium Hypochlorite)	57
Gambar 4. 5 Perbandingan Konsentrasi dan Jarak Pagi.....	60
Gambar 4. 6 Perbandingan Konsentrasi dan Jarak Sore	60
Gambar 4. 7 Peta EPANET Jaringan Distribusi Jam 06.00 Pagi.....	62
Gambar 4. 8 Peta EPANET Jaringan Distribusi Jam 18.00 Sore.....	62
Gambar 4. 9 Penurunan Konsentrasi Klorin pada Simulasi Jam 06:00.....	63
Gambar 4. 10 Penurunan Konsentrasi Klorin pada Simulasi Jam 18:00.....	63
Gambar 4. 11 Perubahan Konsentrasi Klorin pada pukul 00:00- 24:00 WIB.....	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengamatan Keseluruhan Klorin	72
Lampiran 2 Data Keseluruhan Tekanan (kg/cm ²).....	73
Lampiran 3 Data Tekanan PERUMDA	74
Lampiran 4 Perhitungann Koefisien Laju Klorin	75
Lampiran 5 Kehilangan Tekanan dan Total Head	76
Lampiran 6 Data PERUMDA Kualitas Air Baku.....	77
Lampiran 7 Data Total Coliform PERUMDA.....	78
Lampiran 8 PERMENKES No.2 Tahun 2023	79
Lampiran 9 Peta Distribusi	79
Lampiran 10 APHA 9221-B	80
Lampiran 11 PUPR No. 28 Tahun 2023	80
Lampiran 12 Peta Daerah Pengamatan	81
Lampiran 13 Peta Jaluir Air.....	81
Lampiran 14 Dokumentasi.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari (Kementerian Kesehatan RI, 2017). Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah, kebutuhan air bersih yang layak juga semakin meningkat (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2007). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pemerintah daerah melalui Perusahaan Air Minum Daerah (PERUMDA) memiliki peran penting dalam menyediakan layanan air yang aman dan berkualitas untuk masyarakat (Masduqi, 2016). Air minum merupakan kebutuhan dasar manusia yang harus memenuhi persyaratan kualitas sesuai standar kesehatan (WHO, 2022). Kualitas air minum diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang persyaratan kualitas air minum, yang mencakup parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi.

PERUMDA Sleman merupakan badan usaha milik daerah yang bergerak dalam penyediaan air bersih guna memenuhi kebutuhan masyarakat (Masduqi, 2022). Dalam menjalankan layanannya, PERUMDA tidak hanya berfokus pada distribusi, tetapi juga memastikan kualitas air minum tetap terjaga. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pengujian kualitas air, khususnya terhadap kadar klorin, yang dilakukan secara rutin pada setiap unit pengolahan (Kementerian Kesehatan RI, 2023). Kegiatan pemantauan ini dilaksanakan secara berkala, yaitu satu kali setiap bulan, termasuk pada Unit Tengah.

Keamanan air minum (*water safety*) merupakan aspek penting dalam penyediaan air bersih karena kualitas air harus terjamin mulai dari sumber, proses pengolahan, hingga jaringan distribusi. Pendekatan *Water Safety Plan* (WSP) yang direkomendasikan oleh WHO menekankan pengendalian risiko kontaminasi pada seluruh tahapan sistem penyediaan air minum. Salah satu indikator penerapan *water safety* adalah keberadaan residu klorin bebas di jaringan

distribusi yang berfungsi mempertahankan kualitas mikrobiologi air hingga ke pelanggan (WHO, 2022).

Evaluasi konsentrasi sisa klor bebas diperlukan untuk memastikan efektivitas proses desinfeksi tetap terjaga selama distribusi. Penurunan residu klorin akibat waktu tinggal air (*water age*), kondisi hidraulik, maupun reaksi dengan bahan organik berpotensi meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, pengukuran sisa klor bebas dan pemodelan distribusi klorin menjadi langkah penting dalam mendukung penyediaan air minum yang aman sesuai dengan prinsip *water safety* (WHO, 2022).

Sumber air pada PERUMDA Sleman IPA Minomartani berasal dari sumur dalam dan jenis sumber air tersebut memiliki karakteristik kualitas potensi kontaminasi mikrobiologi yang dapat memengaruhi efektivitas pengolahan. Sistem desinfeksi menjadi tahap kritis dalam menjamin kualitas air minum hingga ke pelanggan, terutama dalam menghadapi variasi kondisi operasional dan distribusi jaringan (Aftiatnita, 2016). Evaluasi sistem desinfeksi diperlukan untuk menilai efektivitas klorinasi, kestabilan sisa klor bebas, serta kecukupan waktu kontak berdasarkan standar PERMENKES No. 2 Tahun 2023.

Pada umumnya, senyawa yang digunakan untuk disinfeksi adalah senyawa yang mengandung klorin karena dianggap stabil dan ekonomis. Sumber air, jarak, kondisi pipa dan kualitas air baku mempengaruhi sisa klorin pada jaringan distribusi air minum (Hidayat & Nur Fadhillah, 2021). PERUMDA Sleman secara keseluruhan menggunakan beberapa tahapan pengolahan yaitu koagulasi-flokulasi, filtrasi, sedimentasi, dan disinfeksi untuk menghasilkan air bersih. PERUMDA Sleman juga secara rutin melakukan pengawasan kualitas air satu kali dalam satu bulan. Menurut PERMENKES No.2 Tahun 2023, keberadaan senyawa klorin bebas didalam jaringan yang diizinkan adalah 0,2 – 0,5 mg/l. Apabila sisa klorin kurang dari 0,2 mg/l, maka efektivitas disinfeksi menurun dan berpotensi meningkatkan keberadaan mikroorganisme patogen dalam air (WHO, 2022). Sebaliknya, jika kadar klorin melebihi 0,5 mg/L, maka dapat menimbulkan dampak kesehatan seperti pembentukan senyawa karsinogenik serta menurunkan kualitas estetika air minum (Aftiatnita, 2016).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem desinfeksi pada IPA Minomartani perlu dievaluasi untuk mengetahui efektivitas dosis pembubuhan klorin dalam mempertahankan kualitas air minum pada jaringan distribusi berdasarkan hasil uji laboratorium dan pemodelan menggunakan *software EPANET 2.2*.
2. Penurunan konsentrasi sisa klor bebas pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh jarak distribusi, sehingga diperlukan analisis hubungan antara jarak distribusi dengan perubahan konsentrasi sisa klor bebas pada titik distribusi terdekat, menengah, dan terjauh.
3. Keberadaan total *coliform* pada jaringan distribusi berkaitan dengan efektivitas sisa klor bebas dalam proses desinfeksi, sehingga diperlukan analisis hubungan antara konsentrasi sisa klor bebas dengan total *coliform* pada titik distribusi air minum.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi sistem disinfeksi pada IPA Minomartani berdasarkan dosis klorin, dan hasil evaluasi pemodelan menggunakan *software EPANET 2.2* serta hasil uji laboratorium.
2. Menganalisis hubungan antara jarak distribusi terhadap penurunan sisa klor bebas pada titik distribusi terdekat, menengah, dan jauh.
3. Menganalisis hubungan antara total *coliform* dengan sisa klor bebas pada titik distribusi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan evaluasi dan rekomendasi teknis bagi PERUMDA Sleman untuk meningkatkan efektivitas sistem disinfeksi.

2. Menjamin kualitas air minum yang diterima masyarakat tetap memenuhi standar kesehatan.
3. Mengetahui pengaruh jarak dengan penurunan konsentrasi sisa klorin serta total *coliform* pada jaringan distribusi.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian dilakukan di IPA Minomartani, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman.
2. Identifikasi masalah mencakup kelayakan sistem disinfeksi pada IPA Minomartani PERUMDA Sleman terhadap hasil uji laboratorium pada bida produksi dan distribusi PERUMDA Sleman.
3. Data yang digunakan terdiri dari data primer hasil pengukuran lapangan dan data sekunder PERUMDA Sleman.
4. Indikator yang digunakan untuk evaluasi sistem disinfeksi adalah sisa klorin bebas dalam jaringan distribusi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyediaan Air Minum

Menurut Permenkes RI No.32 Tahun 2017, air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan, baik dari segi fisik, kimia, maupun mikrobiologi. Air bersih merupakan air yang secara fisik, kimiawi, dan mikrobiologis tidak mengandung zat atau mikroorganisme berbahaya, sehingga aman digunakan untuk keperluan sehari-hari, seperti mandi, mencuci, memasak, dan keperluan sanitasi lainnya. Air bersih berbeda dengan air minum, tidak semua air bersih layak diminum, tetapi semua air minum harus memenuhi syarat sebagai air bersih. Air minum adalah air yang dapat dikonsumsi manusia secara langsung dan memenuhi persyaratan kesehatan serta kebersihan.

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) adalah serangkaian infrastruktur dan fasilitas yang berfungsi untuk menyediakan air minum kepada masyarakat, mencakup sumber air baku, instalasi pengolahan, jaringan transmisi, reservoir, hingga jaringan distribusi. Menurut PERMENKES RI No. 32 Tahun 2017, air bersih adalah air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dan memenuhi syarat kesehatan, baik secara fisik, kimia, maupun mikrobiologi. Tidak semua air bersih dapat langsung diminum, karena air minum harus memenuhi syarat tambahan sesuai dengan PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023. Menurut PERMENKES RI No.2 Tahun 2023 tentang Standar Kualitas Air Minum, air minum harus bebas dari bahan pencemar fisika, kimia, dan mikrobiologi yang dapat membahayakan kesehatan manusia.

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan sarana dan prasarana penyediaan air minum. SPAM dirancang untuk memenuhi aspek kualitas, kuantitas, dan kontinuitas air minum sesuai dengan standar yang berlaku (Masduqi, 2016). Pengembangan SPAM dilakukan untuk memenuhi kualitas, kuantitas, dan kontinuitas dari air minum yang meliputi pembangunan baru,

peningkatan, serta perluasan. Sumber air bersih dapat berasal dari berbagai sumber seperti, air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut. Adapun air bersih yang layak digunakan memiliki kriteria yang tertera dalam **Tabel 2.1**, dimana terdapat syarat fisik, kimia, dan mikrobiologis yang harus tidak lagi terdeteksi dalam air.

Tabel 2. 1 Kriteria Air Bersih

Syarat Fisik	Syarat Kimia	Syarat Mikrobiologis
> Tidak Berwarna	> pH netral (antara 6,5 - 8,5)	Bebas dari mikroorganisme patogen, seperti:
> Tidak Berbau	> Tidak mengandung logam berat	
> Tidak Berasa	> TDS tidak melebihi batas aman	> Total coliform
> Kekeruhan Rendah	> Tidak beracun	> E.coli

Sumber: (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

2.2 Standar Kualitas Air

Air minum adalah air yang telah melalui pengolahan atau secara alami memenuhi syarat kesehatan sehingga dapat diminum secara langsung. Persyaratan air minum mengacu pada Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 yang menetapkan bahwa air harus bebas dari kontaminan mikrobiologis, memiliki kualitas fisika yang baik (jernih, tidak berbau, tidak berasa), serta tidak mengandung bahan kimia berbahaya melebihi ambang batas. Air minum yang tidak memenuhi persyaratan dapat menimbulkan dampak kesehatan seperti diare, keracunan logam berat, dan gangguan sistem saraf (WHO, 2022). Oleh karena itu, pengawasan kualitas air minum menjadi prioritas utama, baik oleh penyedia air (PERUMDA) maupun pemerintah.

Menurut buku *Drinking Water Quality Monitoring* (2022) diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan RI, kualitas air minum yang ada di rumah tangga tahun 2021 terdapat 11,4 % masyarakat yang menggunakan air dengan jaringan

perpiaan, mayoritas masyarakat menggunakan Depot Air Minum Isi Ulang, sumur gali terlindung, sumur bor, dan lainnnya. Sebuah sumber air minum yang layak dikonsumsi dari segi mikrobiologis telah diatur dalam Permenkes No.2 Tahun 2023 yang tertera pada **Tabel 2.1** , dimana ada batas maksimal keberadaan jumlah mikroorganisme yang terdapat di dalam air.

Dalam sebuah sistem penyediaan air minum, perlu diketahui besar pemakaian dan kebutuhan air. Kebutuhan air dapat diketahui melalui jumlah populasi penduduk dalam suatu wilayah. Untuk melakukan proyeksi jumlah kebutuhan air bersih, dilakukan dengan memperkirakan kebutuhan air dari kegiatan yang berbeda ditambah kehilangan air. Perhitungan kebutuhan air ini dibagi menjadi dua, yaitu:

A. Kebutuhan Domestik:

- Sambungan Rumah (SR)
- Sambungan kran umum

B. Kebutuhan Non Domestik:

- Fasilitas sosial (sekolah, rumah sakit, masjid, dan lainnya)
- Fasilitas indstri
- Fasilitas perkantoran dan lainnya

Jumlah kebutuhan air untuk rumah tangga juga tidaklah sama. Direktorat Jendral Cipta Karya, 2007 membagi standar kebutuhan air minum berdasarkan lokasi wilayah yang dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Standar Kebutuhan Air Minum

No	Kategori	Jumlah Penduduk	Standar Kebutuhan (m3/orang/hari)
1	Kota Metropolitan	> 1.000.000	0,15
2	Kota Besar	500.000 - 1.000.000	0,13
3	Kota Sedang	100.000 - 500.000	0,11
4	Kota Kecil	20.000 - 100.000	0,09
5	Desa	< 20.000	0,06

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya, 2007

2.3 Proses Pengolahan Air Minum

Pengolahan air minum di PERUMDA merupakan kegiatan utama yang bertujuan untuk memastikan air baku dapat memenuhi standar kualitas air minum berdasarkan PERMENKES No 2 Tahun 2023. Umumnya PERUMDA menggunakan metode pengolahan fisik dan pengolahan kimia, dengan tahapan sebagai berikut:

2.4.1 Pengambilan Air Baku

PERUMDA biasanya memanfaatkan dua jenis sumber air baku, yaitu:

- Air permukaan, seperti sungai, danau, dan waduk. Keuntungannya adalah jumlah melimpah, tetapi kualitasnya sangat dipengaruhi musim dan pencemaran.
- Air tanah, seperti sumur dalam (deep well). Umumnya lebih stabil secara kualitas, tetapi memiliki keterbatasan kuantitas dan risiko penurunan muka air tanah jika eksploitasi berlebihan.

Air baku dapat berasal dari air permukaan maupun air tanah yang memiliki karakteristik kualitas yang berbeda (Masduqi, 2016). Air diambil dari sumbernya dan disaring secara kasar (screening) untuk membuang benda padat besar seperti daun, sampah, dan pasir kasar. Sistem intake biasanya dilengkapi dengan pompa untuk mendorong air ke instalasi pengolahan. Sumber air ini akan masuk ke dalam unit pengolahan sebelum didistribusikan kepada pelanggan. Oleh karena itu, kualitas air baku harus dipantau secara rutin untuk menyesuaikan proses pengolahan yang digunakan.

1. Koagulasi dan Flokuasi

Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia (koagulan), seperti aluminium sulfat atau PAC (*Poly Aluminium Chloride*), untuk menetralkan muatan partikel koloid sehingga dapat membentuk flok (Masduqi, 2016). Proses ini bertujuan agar partikel-partikel tersebut saling menggumpal (flokulasi). Meskipun mengandung istilah *chloride*, PAC bukan merupakan sumber klorin bebas (*free chlorine*) yang terukur pada penelitian ini. Senyawa

klorida (Cl^-) yang terdapat dalam PAC hanya berperan sebagai ion pendamping dan tidak memiliki sifat desinfektan maupun kemampuan membentuk asam hipoklorit (HOCl) atau ion hipoklorit (OCl^-), yang merupakan bentuk klorin bebas di dalam air.

Proses koagulasi menggunakan PAC mampu mengurangi kekeruhan, bahan organik, dan senyawa pereduksi yang terdapat di dalam air baku. Berkurangnya senyawa-senyawa tersebut akan menurunkan kebutuhan klorin (*chlorine demand*), sehingga jumlah klorin yang bereaksi menjadi lebih sedikit dan residu klorin bebas yang tersisa setelah proses desinfeksi dapat meningkat. Dengan demikian, PAC tidak berkontribusi sebagai sumber klorin bebas, tetapi berperan dalam meningkatkan efisiensi proses desinfeksi melalui penurunan kebutuhan klorin.

Flokulasi merupakan proses lanjutan dengan pengadukan lambat yang menyebabkan partikel-partikel kecil bergabung menjadi flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi adalah dosis koagulan, pH air, waktu pengadukan, dan suhu.

2. Sedimentasi

Air yang mengandung flok besar dialirkan ke bak sedimentasi, tempat partikel-partikel berat mengendap secara gravitasi. Endapan lumpur di bagian dasar bak dibuang secara rutin, sedangkan air jernih di bagian atas dialirkan ke proses selanjutnya (SNI 6774:2008).

3. Filtrasi

Filtrasi dilakukan setelah sedimentasi untuk menghilangkan partikel halus yang masih tersisa setelah proses sedimentasi dengan menggunakan media seperti pasir dan kerikil (Masduqi, 2016). Media filter yang umum digunakan adalah pasir silika, kerikil, antrasit, dan terkadang karbon aktif. Air mengalir secara gravitasi atau tekan ke dalam media filter, dan partikel tersisa akan tertahan di dalam media. Filter harus dicuci ulang secara berkala (*backwashing*) untuk menghilangkan kotoran yang menumpuk agar media tidak tersumbat.

4. Desinfeksi

Desinfeksi merupakan tahap akhir dalam pengolahan air yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen dengan menggunakan bahan kimia seperti klorin (Aftiatnita, 2016). Bahan kimia seperti klorin (kaporit) atau natrium hipoklorit (NaOCl) untuk membunuh mikroorganisme patogen (bakteri, virus, protozoa) yang berpotensi menyebabkan penyakit.

Kadar residu klor bebas pada titik distribusi harus sesuai dengan Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu:

- Minimal: 0,2 mg/L
- Maksimal: 0,5 mg/L

Penambahan klorin dilakukan secara otomatis (dosing pump) berdasarkan debit air dan kualitas air hasil filtrasi.

5. Klorinasi

Disinfektan yang umum digunakan adalah senyawa yang mengandung klorin karena stabil dan ekonomis. Klorinasi merupakan proses pemberian klorin kedalam air yang telah menjalani proses filtrasi dan merupakan langkah yang maju dalam proses pengolahan air (Elma Sofia dkk, 2015). Sisa klorin dalam air berfungsi untuk membunuh mikroorganisme patogen yang berpotensi masuk selama proses distribusi kepada masyarakat.

2.4 Disinfeksi

Disinfeksi merupakan proses pengolahan air yang bertujuan untuk mengurangi atau membunuh mikroorganisme patogen agar kualitas air aman digunakan dan memenuhi standar kesehatan. Proses ini dapat dilakukan melalui metode fisik maupun kimiawi dengan memanfaatkan bahan atau agen tertentu yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan patogen lainnya (PERMENKES No. 2 Tahun 2023). Bahan yang digunakan dalam proses disinfeksi disebut disinfektan, yaitu senyawa kimia atau metode fisik yang berfungsi untuk menurunkan jumlah mikroorganisme sehingga risiko pencemaran dan penyebaran penyakit dapat diminimalkan.

Secara umum, proses desinfeksi pada pengolahan air minum dapat dilakukan secara fisik maupun kimia. Metode desinfeksi secara kimia biasanya menggunakan klorin, ozon, atau senyawa halogen lainnya, sedangkan metode fisik dapat dilakukan menggunakan sinar *ultraviolet* (UV), ultrafiltrasi, maupun *reverse osmosis* (AWWA, 2022). Dari berbagai metode tersebut, klorinasi merupakan metode yang paling banyak digunakan pada sistem penyediaan air minum karena memiliki efektivitas yang tinggi dalam membunuh mikroorganisme, biaya operasional yang relatif lebih murah, mudah diperoleh, serta mampu mempertahankan sisa desinfektan dalam jaringan distribusi.

Klorin yang digunakan dalam proses desinfeksi bekerja dengan cara merusak struktur sel mikroorganisme patogen, seperti bakteri dan virus. Ketika klorin bereaksi dengan air, akan terbentuk senyawa aktif seperti asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl^-) yang memiliki kemampuan oksidasi tinggi. Senyawa tersebut dapat merusak membran sel, protein, dan enzim mikroorganisme sehingga aktivitas metabolisme terganggu dan mikroorganisme mengalami kematian. Efektivitas proses desinfeksi menggunakan klorin dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti dosis klorin, waktu kontak, pH air, suhu, dan kandungan bahan organik di dalam air (Spellman, 2023).

Konsentrasi klorin bebas yang diukur pada penelitian ini berasal dari proses pembubuhan klorin cair sebagai desinfektan pada unit pengolahan air. Setelah diinjeksi ke dalam air, klorin akan membentuk asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl^-) yang berfungsi sebagai agen desinfeksi sekaligus menghasilkan residu klorin bebas untuk menjaga kualitas mikrobiologis air selama proses distribusi.

2.5 Proses Klorinasi

Klorinasi merupakan proses pemberian klorin kedalam air yang telah melalui proses filtrasi. Apabila konsentrasi sisa klorin terlalu rendah, maka bakteri dapat berkembang kembali dan meningkatkan risiko terjadinya penyakit yang ditularkan melalui air (*waterborne disease*). Sebaliknya, jika

kadar klorin terlalu tinggi, dapat menimbulkan bau yang menyengat serta berpotensi memberikan dampak negatif bagi kesehatan apabila dikonsumsi. Salah satu efek samping dari proses klorinasi adalah *Trihalomethane* (THM) yaitu produk sisa klorinasi yang bersifat karsinogenik (Aftiatnita, 2016).

2.5.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Klorinasi

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan disinfeksi dalam membunuh mikroorganisme seperti konsentrasi disinfektan, jenis disinfektan, waktu kontak, faktor lingkungan seperti pH, suhu, kualitas air, dan jarak tempuh air

1. Konsentrasi Disinfektan

Semakin tinggi konsentrasi, semakin efektif membunuh mikroorganisme (Masduqi, 2016). Sehingga semakin baik kerja disinfektan dalam membunuh bakteri patogen dalam air.

2. Jenis Disinfektan

Jenis disinfektan berfungsi untuk menilai koefisien pemusnahan spesifik. Jenis disinfektan yang sering digunakan dalam proses pengolahan air adalah radiasi UV, ozonisasi, klorinasi, dan klorin dioksida.

3. Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan disinfeksi untuk membunuh mikroorganisme.

4. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang mempengaruhi disinfeksi antara lain pH, suhu, kualitas air baku dan jarak tempuh.

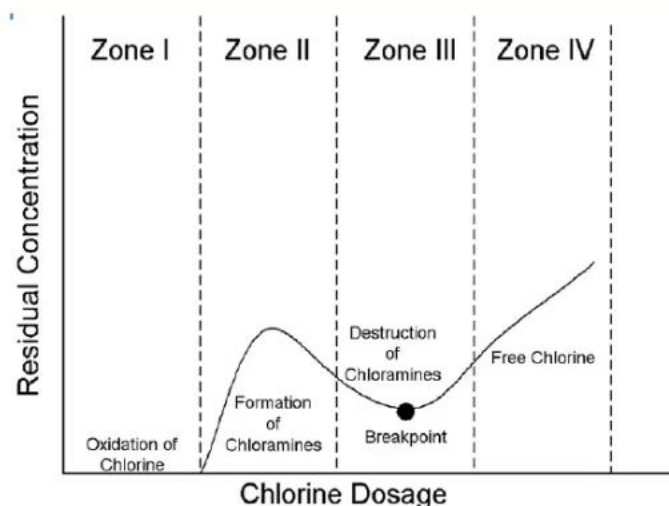
2.6 Break Point Chlorination (BPC)

Break Point Chlorination (BPC) merupakan kondisi pada proses klorinasi ketika jumlah klorin yang ditambahkan telah cukup untuk mengoksidasi seluruh senyawa tereduksi di dalam air, seperti zat organik, besi, mangan, dan amonia,

sehingga terbentuk sisa klorin bebas yang dapat berfungsi sebagai desinfektan. Pada titik ini, amonia dalam air telah bereaksi dan teroksidasi menjadi nitrogen, sedangkan klorin bebas mulai tersisa dalam air untuk proses inaktivasi mikroorganisme patogen (Spellman, 2023).

Jumlah klorin yang diperlukan untuk mencapai kondisi tersebut disebut sebagai kebutuhan klorin (*chlorine demand*). Kebutuhan klorin dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, mikroorganisme, amonia, dan senyawa lain yang dapat bereaksi dengan klorin di dalam air. Setelah titik *break point* tercapai, penambahan klorin akan menghasilkan peningkatan konsentrasi sisa klorin bebas secara lebih stabil sehingga proses desinfeksi dapat berlangsung lebih efektif (American Water Works Association/AWWA, 2022).

Konsep *Break Point Chlorination* digunakan untuk menentukan dosis klorin optimum dalam proses pengolahan air minum. Dosis klorin yang diperoleh dari kurva BPC dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan efektivitas penyisihan mikroorganisme pada proses desinfeksi. Semakin tepat dosis klorin yang diberikan, maka semakin optimal pula proses inaktivasi mikroorganisme tanpa menyebabkan konsentrasi sisa klorin yang berlebihan pada jaringan distribusi.



Gambar 2. 1 Grafik Klorinasi dan Breakpoint Chlorination

Pada **Gambar 2.1** yang ditunjukkan pada grafik, Zona I merupakan tahap terjadinya oksidasi oleh klorin terhadap berbagai senyawa yang terdapat di dalam air. Selanjutnya, pada Zona II terjadi pembentukan kloramin sebagai hasil reaksi antara asam hipoklorit (HOCl) atau klorin bebas dengan amonia. Selain pembentukan kloramin, pada tahap ini juga dapat terbentuk senyawa organoklorin (chloro-organic compounds) akibat reaksi klorin dengan senyawa organik yang ada di dalam air. Memasuki Zona III, konsentrasi kloramin mulai mengalami dekomposisi sehingga jumlahnya semakin berkurang. Pada zona ini terjadi *breakpoint chlorination* atau titik retak klorinasi, yaitu kondisi ketika dosis klorin yang diberikan telah mencukupi untuk mengoksidasi seluruh zat yang dapat dioksidasi, menghilangkan amonia melalui pembentukan gas nitrogen (N_2), serta menyisakan residu klorin aktif yang diperlukan untuk mempertahankan proses desinfeksi selama distribusi air (Crittenden et al., 2012). *Breakpoint chlorination* dicapai apabila memenuhi beberapa kondisi berikut:

- Seluruh senyawa yang dapat dioksidasi telah teroksidasi
- Amonia telah teroksidasi dan terlepas dalam bentuk nitrogen (N_2)
- Masih terdapat residu klorin bebas yang cukup untuk menjaga efektivitas desinfeksi selama air didistribusikan

Pada Zona IV, klorin yang tersisa berada dalam bentuk klorin bebas (*free chlorine*). Klorin bebas memiliki kemampuan desinfeksi yang sangat tinggi, tetapi sifatnya sangat reaktif sehingga konsentrasinya cepat menurun di dalam air. Oleh karena itu, dalam sistem penyediaan air minum, klorin bebas umumnya dibiarkan bereaksi terlebih dahulu sehingga membentuk monokloramin maupun dikloramin yang lebih stabil dan mampu mempertahankan residu desinfektan lebih lama selama proses distribusi (WHO, 2022).

2.7 Analisis Bakteri Total *Coliform* dengan *Most Probable Number* (MPN)

Analisis bakteri total *coliform* merupakan salah satu parameter mikrobiologi yang digunakan untuk mengetahui kualitas air minum dan tingkat keamanan air terhadap kontaminasi mikroorganisme patogen. Bakteri *coliform* digunakan sebagai indikator pencemaran karena keberadaannya menunjukkan kemungkinan

adanya kontaminasi dari lingkungan maupun bahan organik dalam sistem distribusi air. Menurut PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, jumlah total *coliform* pada air minum yang didistribusikan kepada pelanggan harus bernilai 0 per 100 mL sampel.

Bakteri *coliform* merupakan kelompok bakteri indikator yang secara alami dapat ditemukan di lingkungan, seperti tanah, vegetasi, dan air permukaan, serta dapat berasal dari kontaminasi feces manusia maupun hewan. Dalam sistem penyediaan air minum, keberadaan bakteri *coliform* pada jaringan distribusi umumnya menunjukkan adanya kontaminasi sekunder, yang dapat disebabkan oleh kebocoran pipa, sambungan pipa yang tidak kedap, kondisi tekanan negatif yang memungkinkan terjadinya intrusi air dari lingkungan sekitar, maupun reservoir distribusi yang kurang terpelihara. Oleh karena itu, keberadaan sisa klorin yang memadai sangat penting untuk mencegah pertumbuhan dan masuknya mikroorganisme selama proses distribusi air minum (WHO, 2022)

Metode yang umum digunakan untuk analisis total *coliform* adalah metode *Most Probable Number* (MPN). Metode MPN merupakan metode statistik untuk memperkirakan jumlah bakteri *coliform* berdasarkan kemungkinan pertumbuhan mikroorganisme dalam media cair tertentu. Prinsip metode ini didasarkan pada fermentasi laktosa oleh bakteri coliform yang menghasilkan gas dan perubahan warna pada media pengujian (APHA, 2017).

Pengujian total coliform dengan metode MPN umumnya dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu uji penduga (*presumptive test*), uji penegasan (*confirmed test*), dan uji pelengkap (*completed test*). Pada tahap uji penduga, sampel air diinokulasikan ke dalam media *Lactose Broth*. dan diinkubasi pada suhu tertentu selama 48 jam. Apabila terbentuk gas dalam tabung Durham setelah inkubasi, maka sampel diduga mengandung bakteri coliform. Selanjutnya dilakukan uji penegasan menggunakan media Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLB) untuk memastikan keberadaan bakteri *coliform*. Uji pelengkap dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik bakteri secara lebih lanjut apabila diperlukan (APHA, 2017).

Nilai MPN diperoleh berdasarkan jumlah tabung positif yang menunjukkan pembentukan gas setelah masa inkubasi, kemudian dicocokkan dengan tabel indeks MPN standar. Hasil pengujian dinyatakan dalam satuan MPN/100 mL. Semakin tinggi nilai MPN, maka semakin besar tingkat pencemaran mikrobiologi pada air tersebut. Sebaliknya, apabila hasil pengujian menunjukkan nilai 0 MPN/100 mL, maka kualitas mikrobiologi air dinyatakan memenuhi standar kualitas air minum yang berlaku.

2.8 Pemodelan *EPANET* 2.2

EPANET 2.2 merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi hidrolika dan pemodelan kualitas air pada jaringan distribusi perpipaan. Aplikasi ini dimanfaatkan dalam Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) untuk menganalisis perilaku aliran serta distribusi parameter kualitas air selama periode operasional tertentu (Rossman, 2000; Ramadhan et al., 2021).

EPANET mampu mensimulasikan parameter hidrolik seperti debit, tekanan, dan kecepatan aliran, serta parameter kualitas air seperti konsentrasi sisa klorin dan senyawa kimia lainnya dalam jaringan distribusi (Rossman, 2000). Dengan demikian, perangkat lunak ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem distribusi air secara menyeluruh (Andika & Prasetyo, 2020).

Dalam pemodelannya, *EPANET* merepresentasikan sistem distribusi air dalam bentuk komponen utama, yaitu node (titik sambungan), pipa, pompa, katup, dan reservoir. Setiap komponen memiliki karakteristik hidrolik tertentu yang dapat dianalisis untuk mengetahui kondisi operasional jaringan secara detail (Rossman, 2000). Hal ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pengembangan sistem, kalibrasi model, serta analisis distribusi sisa klorin dalam jaringan perpipaan (Andika & Prasetyo, 2020).

Penggunaan *EPANET* juga membantu dalam mengidentifikasi titik-titik kritis pada jaringan distribusi, seperti daerah dengan tekanan rendah atau konsentrasi sisa klorin yang tidak memenuhi standar. Kondisi tersebut dapat menjadi indikator adanya penurunan kualitas air yang berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat (Ramadhan et al., 2021)

Selain itu, hasil simulasi *EPANET* dapat ditampilkan dalam bentuk visual seperti grafik, tabel, dan peta jaringan distribusi, sehingga memudahkan operator dalam melakukan monitoring sistem secara *real-time* dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Andika & Prasetyo, 2020). Dengan kemampuan tersebut, *EPANET* menjadi salah satu software yang efektif dalam evaluasi dan optimalisasi sistem distribusi air minum.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dipakai oleh penulis sebagai acuan maupun referensi untuk menyusun laporan dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No.	Referensi	Judul	Parameter yang Diteliti	Relevansi	Hasil
1	Damayanti, 2020	Evaluasi Sistem Disinfeksi pada PDAM Sleman Unit Nogotirto	Kadar Klor bebas, Dosis Klor, Waktu Kontak, pH, Suhu, Kekeruhan, total coliform, E.coli	Terkait dengan kinerja sistem disinfeksi pada tahap akhir pengolahan guna memastikan keamanan air minum dan kepatuhan terhadap standar.	Kadar klor umumnya memenuhi standar (0,2-0,5 mg/L), namun fluktuatif di jaringan. Proses disinfeksi efektif menurunkan coliform/E.coli, tetapi waktu kontak dan distribusi klor belum optimal.
2	Ardennita Marsha, 2020	Evaluasi Sistem Disinfeksi	Kadar Klor bebas, Dosis Klor, Waktu	Efektifitas sistem disinfeksi dan	Klorin di outlet memenuhi standar, namun

		pada PDAM Sleman Unit Tridadi	Kontak, pH, Suhu, Kekeruhan, total coliform, E.coli	faktor yang mempengaruhi kualitas air hasil pengolahan.	menurun di ujung jaringan distribusi. Efektivitas disinfeksi baik, tetapi dipengaruhi oleh pH, kekeruhan, dan waktu kontak.
3	Zahra Pramesti, 2022	Evaluasi Efektivitas Sistem Klorinasi pada IPA PDAM Sleman Kabupaten Sleman	Sisa Klor, pH, total coliform	Sangat terkait dengan evaluasi disinfeksi dan distribusi PDAM Sleman	Menunjukkan penurunan sisa klor signifikan pada jarak > 800 m dari reservoir, dan beberapa titik menunjukkan sisa klor < 0,2 mg/L sehingga tidak memenuhi baku mutu.
4	Hidayat & Nur Fadhillah, 2021	Analisis Hubungan Jarak Distribusi dengan Sisa Klor di Jaringan PDAM Tirta	Sisa klor bebas, jarak distribusi	Mendukung analisis hubungan jarak dengan penurunan residu klor	Jarak perpipaan berkorelasi negatif dengan konsentrasi sisa klor; penurunan paling tajam terjadi pada pipa sekunder dengan

		Sembada			kondisi korosi.
5	Rahmawati, 2023	Kajian Kualitas Air Minum pada Sistem Distribusi Kampus UII Terpadu	Fisika, Kimia, dan Mikrobiologi	Memberikan pembandingan terhadap sistem distribusi dalam satu institusi pendidikan.	Parameter fisika memenuhi standar, tetapi ditemukan coliform pada jaringan pipa lama.

Berdasarkan penelitian terdahulu pada **Tabel 2.3**, dapat disimpulkan bahwa efektivitas sistem desinfeksi pada jaringan distribusi air minum dipengaruhi oleh konsentrasi sisa klor, jarak distribusi, kondisi jaringan perpipaan, serta kualitas fisik dan mikrobiologi air. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa kadar sisa klor pada outlet reservoir umumnya masih memenuhi standar, namun mengalami penurunan selama proses distribusi menuju pelanggan akibat reaksi klorin dengan bahan organik, mikroorganisme, kondisi pipa, korosi, kebocoran jaringan, dan pengaruh umur air (*water age*). Semakin jauh jarak distribusi, maka konsentrasi sisa klor cenderung semakin menurun sehingga dapat memengaruhi kualitas mikrobiologi air, termasuk keberadaan total coliform pada jaringan distribusi. Selain itu, faktor lain seperti pH, suhu, tekanan, waktu kontak, dan kondisi hidraulik jaringan juga turut memengaruhi stabilitas sisa klor dalam sistem distribusi air minum. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem desinfeksi pada IPA Minomartani melalui analisis konsentrasi sisa klor, tekanan jaringan, total coliform, serta pemodelan menggunakan *EPANET* guna mengetahui kemampuan sistem distribusi dalam mempertahankan kualitas air hingga sampai ke pelanggan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan

Kerangka penelitian ini disusun untuk menggambarkan tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis. Penelitian diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data sekunder, dilanjutkan dengan pengambilan sampel air minum dari PERUMDA Tirta Sembada Sleman di titik distribusi yang telah ditentukan. Sampel kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengetahui nilai parameter fisika dan kimia, hasil analisis dibandingkan dengan baku mutu sesuai PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023, lalu dilakukan evaluasi kelayakan konsumsi. Dan melakukan analisis penurunan sisa klor terhadap jarak, analisis mikrobiologi, dan perumusan rekomendasi. Tahapan penelitian yang diteliti:

1. Identifikasi Masalah & Studi Literatur – Mengkaji peraturan, standar kualitas air minum, dan penelitian terdahulu.
2. Pengambilan Sampel – Mengambil sampel air dari titik sampling yang mewakili distribusi PERUMDA Tirta Sembada Sleman.
3. Analisis Laboratorium – Menguji parameter fisika dan kimia menggunakan metode standar (SNI/APHA).
4. Analisis Data – Membandingkan hasil dengan baku mutu air minum dan analisis sisa klor terhadap jarak, pemodelan menggunakan *software EPANET 2.2*, dan perumusan rekomendasi.
5. Kesimpulan – Menentukan kelayakan konsumsi air minum.

3.2 Pengumpulan Data

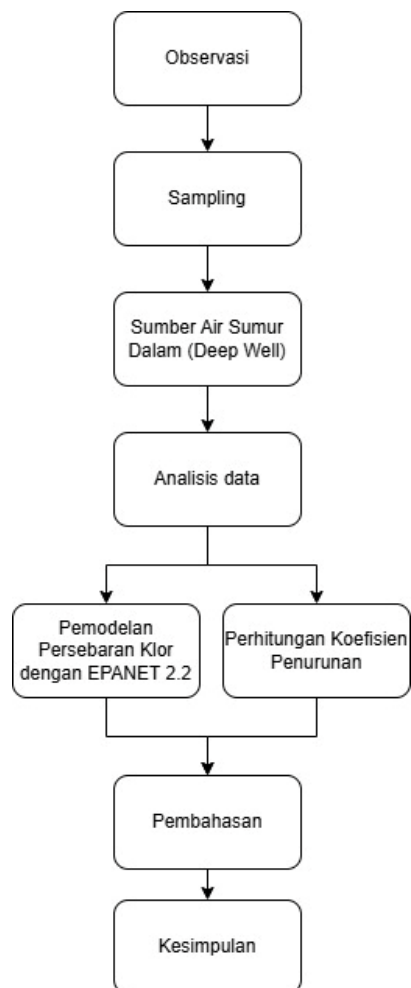
3.2.1 Data dan Parameter yang Diuji

Penelitian ini menggunakan data primer berupa hasil pengujian laboratorium terhadap sampel air PERUMDA. Serta dibutuhkan data operasional

PERUMDA seperti dosis klorin, debit, dan waktu kontak. Parameter yang dianalisis meliputi:

- Parameter Fisik:
 - Suhu
 - pH
- Parameter Kimia:
 - Sisa Klor
- Pengujian Mikrobiologi:
 - *Total Coliform*

Hasil dari analisis laboratorium akan dibandingkan dengan standar Permenkes RI No.2 Tahun 2023.



Gambar 3. 1 Kerangka Berfikir Penelitian

3.2.2 Waktu dan Lokasi

Pengambilan sampel dilakukan dalam satu kali periode penelitian dengan metode *grab sampling* (pengambilan sampel sesaat) sesuai SNI 6989.57:2008 di PERUMDA Sleman Unit Wilayah Tengah, IPA Minomartani. Pengujian kualitas dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. dilakukan pada bulan April 2026-Mei 2026

3.2.3 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan untuk penelitian ini:

- | | |
|---------------------------------|--------------|
| 1. Buret dan Statif | 5. GPS |
| 2. Pengaduk | 6. Kamera |
| 3. Botol Plastik dan Botol Kaca | 7. Manometer |
| 4. Gelas Beaker 250 mL | |

Sedangkan alat yang digunakan pada saat pengujian kualitas air sampel air di Laboratorium menggunakan metode pengujian *Most Probable Number* (MPN) dan Spektrofotometri yaitu:

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. Tabung Reaksi | 6. Laktosa Ganda |
| 2. Tabung Durham | 7. Latosa Tunggal |
| 3. Pipet Ukur | 8. <i>Briliant Green Lactoca Broth</i> (BGLB) |
| 4. Botol Plastik | 9. Spektrofotometer UV-Vis |
| 5. Bunsen dan Jarum Ose | |

Pada **Tabel 3.1** merupakan jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian. Data yang digunakan merupakan data primer yang didapatkan dengan melakukan observasi lapangan dan sampling lapangan. Untuk data sekunder didapatkan dari instansi yang berkaitan yaitu PERUMDA Sleman IPA Minomartani.

Tabel 3. 1 Jenis Data Penelitian

Jenis Data		Metode	Acaum yang digunakan
Data Primer	Konsentrasi Sisa Klorin (mg/l)	Spektrofotometri, dengan reaksi pembentukan kompleks klorin dengan reagen diethyl-p-phenylenediamine (DPD)	PERMENKES No 2 Tahun 2023
	Tekanan Air Pelanggan (kg/cm ²)		BPPSPAM
	Total coliform	Uji MPN	APHA 9221-B
Data Sekunder	Panjang Pipa (m)	Observasi Lapangan	Laporan Bulanan PERUMDA Sleman, IPA Minomartani
	Diameter Pipa (mm)		
	Debit (m ³ /s)		
	Kebutuhan Kaporit/hari (L)		

3.3 Analisis Data

Hasil uji laboratorium akan dianalisis secara deskriptif komparatif dengan cara:

1. Membandingkan hasil uji dengan baku mutu air minum menurut PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023.
2. Menghitung penurunan klor dengan baku mutu, menghitung penurunan klor terhadap jarak distribusi.
3. Menghitung persentase keterpenuhan baku mutu untuk setiap parameter:

Presentase keterpenuhan (%)

$$= \frac{\text{jumlah parameter yang memenuhi baku mutu}}{\text{jumlah seluruh parameter yang diuji}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

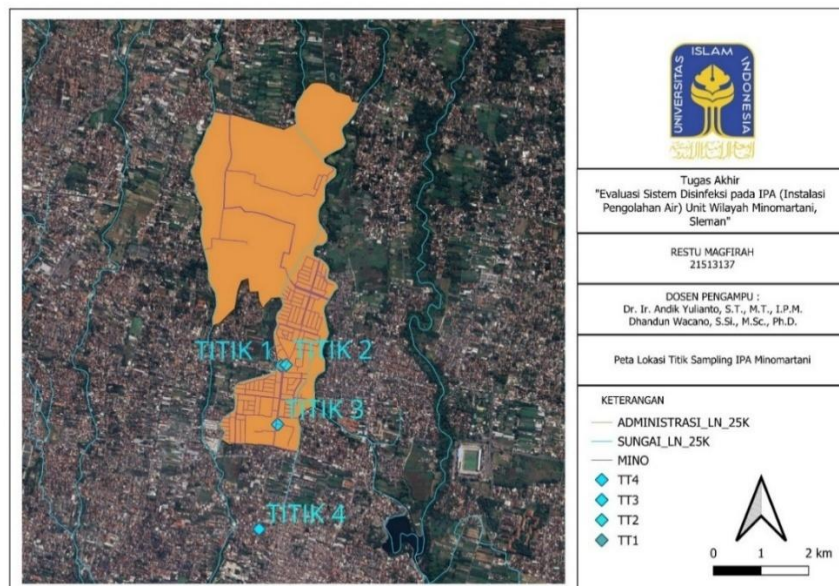
4. Evaluasi kelayakan konsumsi:
 - Apabila semua parameter memenuhi baku mutu → air dinyatakan layak untuk dikonsumsi.
 - Jika ada parameter yang tidak memenuhi baku mutu → air dinyatakan tidak layak atau memerlukan perlakuan lebih lanjut.

5. Visualisasi data: Hasil perbandingan dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik (bar chart atau spider chart) agar lebih mudah dipahami.

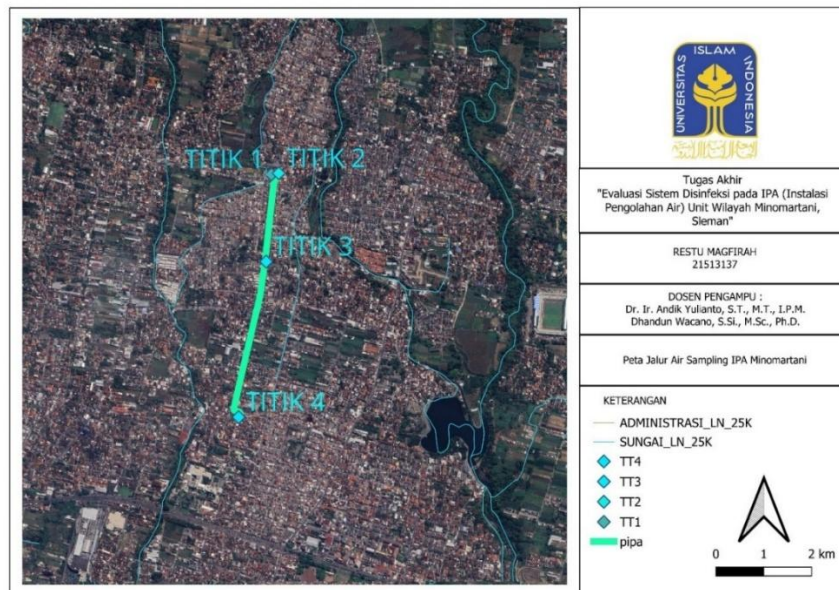
3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sample

Lokasi penelitian dilakukan pada jaringan distribusi pipa, yang berada di IPA Minomartani, Sleman. Sampel yang diambil adalah sampel dalam bentuk air. Lokasi kantor IPA Minomartani berada pada titik koordinat -7.74444, 110.40667. Untuk titik lokasi pengambilan sampel air secara rinci dapat terlihat pada **Gambar 3.3**. Peta Jaringan pipa dapat dilihat pada **Gambar 3.4** yang merupakan daerah pelayanan yang dilayani oleh IPA Minomartani.

Penentuan pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu sampel diambil dari beberapa titik tertentu untuk mewakili keadaan keseluruhan jaringan distribusi, dengan pertimbangan tertentu seperti mewakili jarak pelayanan, terdekat, tengah, dan terjauh. Diharapkan hasil pengukuran sampel pada masing-masing titik pengambilan sampel dapat menggambarkan kondisi jaringan distribusi pipa. Lokasi titik pengambilan sampel dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Titik Sampling



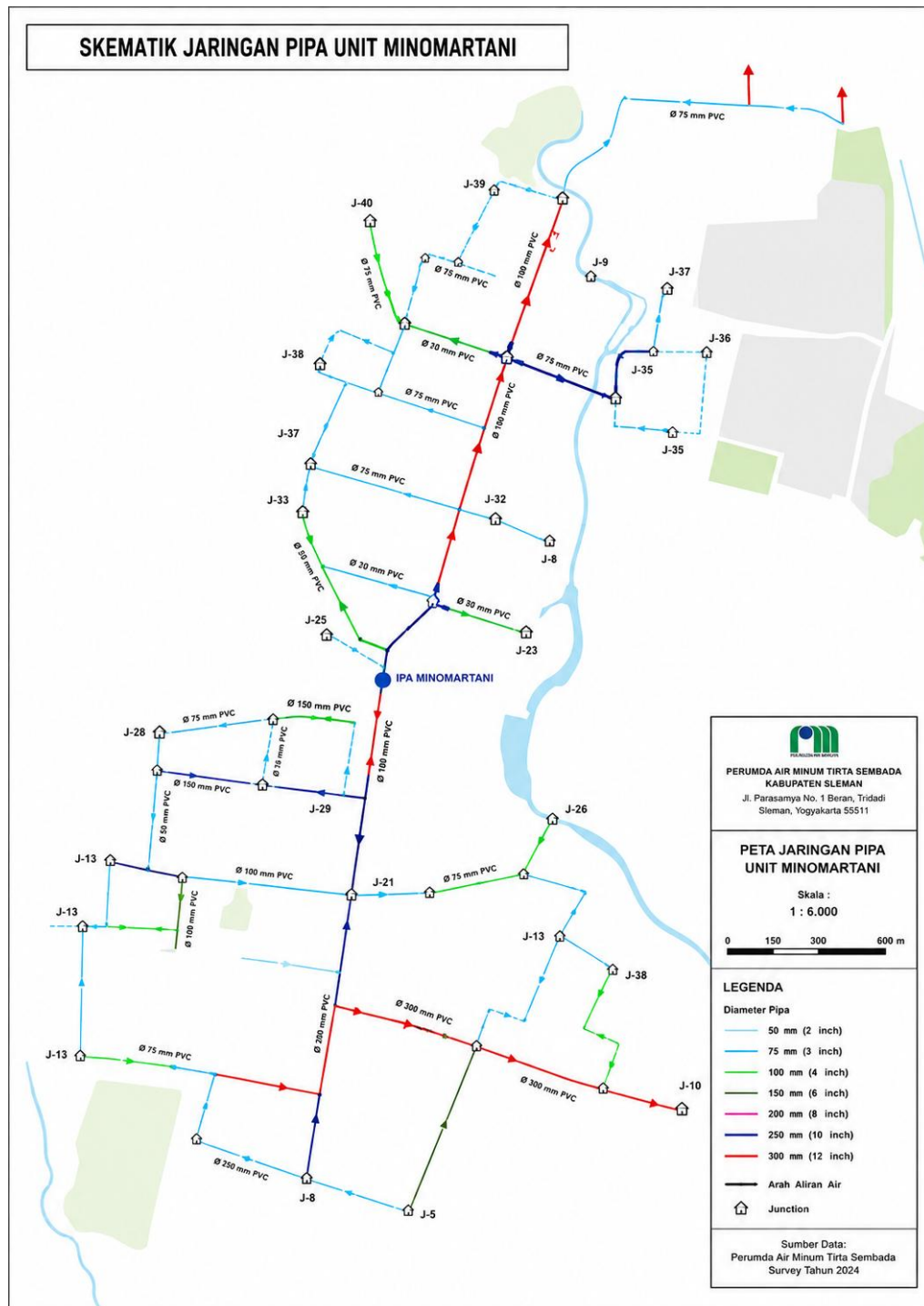
Gambar 3. 3 Peta Jalur Air Sampling

3.5 Pengukuran Parameter Klorin

Pengukuran kadar klorin dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan reagen *diethyl-p-phenylenediamine* (DPD). Metode ini digunakan untuk menentukan konsentrasi sisa klorin bebas berdasarkan pembentukan senyawa kompleks berwarna yang dihasilkan dari reaksi antara klorin dengan reagen DPD. Pengukuran dilakukan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 552 nm. Pada proses pengujian, sampel air yang mengandung klorin akan bereaksi dengan reagen DPD dan membentuk warna merah muda hingga merah keunguan. Intensitas warna yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi klorin bebas dalam sampel, sehingga kadar klorin dapat ditentukan berdasarkan nilai absorbansi yang terbaca pada alat spektrofotometer (Permenkes No. 2 Tahun 2023).

Metode spektrofotometri DPD bekerja berdasarkan prinsip pembentukan kompleks warna akibat reaksi oksidasi antara klorin bebas dengan senyawa *diethyl-p-phenylenediamine* (DPD). Klorin bebas dalam air akan mengoksidasi reagen DPD sehingga menghasilkan senyawa berwarna merah muda. Semakin tinggi konsentrasi klorin dalam sampel, maka semakin tinggi pula intensitas

warna dan nilai absorbansi yang dihasilkan. Nilai absorbansi tersebut kemudian dibandingkan dengan kurva kalibrasi standar untuk memperoleh konsentrasi sisa klorin dalam satuan mg/L.



Gambar 3. 4 Peta Jaringan Pipa

Secara umum, metode spektrofotometri menggunakan reagen DPD memiliki tingkat sensitivitas dan ketelitian yang baik untuk pengukuran sisa klorin pada air minum maupun jaringan distribusi. Selain itu, metode ini dinilai lebih praktis dan cepat dibandingkan metode titrasi karena hasil konsentrasi dapat langsung diperoleh melalui pembacaan alat spektrofotometer. Oleh karena itu, metode DPD spektrofotometri banyak digunakan dalam pengujian kualitas air minum sesuai dengan standar pemeriksaan kualitas air yang mengacu pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengukuran Klorin

3.5.1 Perhitungan Konsentrasi Klorin

Pengukuran konsentrasi sisa klorin pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan reagen diethyl-p-

phenylenediamine (DPD). Metode ini bekerja berdasarkan pembentukan senyawa kompleks berwarna merah muda akibat reaksi antara klorin bebas dengan reagen DPD dalam sampel air. Intensitas warna yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi klorin yang terkandung dalam sampel, sehingga kadar sisa klorin dapat ditentukan melalui pengukuran nilai absorbansi menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 552 nm.

Setelah diperoleh nilai absorbansi sampel, konsentrasi sisa klorin dihitung menggunakan persamaan regresi linear dari kurva kalibrasi standar yang telah dibuat sebelumnya. Kurva standar diperoleh dari hubungan antara konsentrasi larutan standar klorin dengan nilai absorbansi hasil pembacaan alat. Persamaan regresi linear yang digunakan yaitu:

$$y = ax + b \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

y = nilai absorbansi sampel

x = konsentrasi klorin (mg/L)

a = gradien (*slope*) kurva kalibrasi

b = intersep kurva kalibrasi

Nilai konsentrasi sisa klorin yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu kualitas air minum sesuai PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023 untuk mengetahui apakah kadar sisa klorin pada jaringan distribusi masih memenuhi persyaratan kualitas air minum yang berlaku. Adapun tahapan proses klorinasi pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahapan Proses

Air baku yang telah melalui beberapa unit pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Minomartani kemudian dialirkan menuju unit desinfeksi untuk dilakukan proses klorinasi. Proses ini bertujuan untuk menonaktifkan atau membunuh bakteri dan mikroorganisme yang masih terdapat di dalam air sebelum didistribusikan kepada pelanggan. Pembubuhan klorin dilakukan pada outlet reservoir agar sisa klorin tetap tersedia selama proses distribusi air dalam jaringan perpipaan.

2. Tahap Pengukuran Sisa Klorin

Pada penelitian ini, pengukuran sisa klorin dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan reagen *diethyl-p-phenylenediamine* (DPD). Metode ini bekerja berdasarkan pembentukan senyawa kompleks berwarna merah muda akibat reaksi antara klorin bebas dengan reagen DPD. Intensitas warna yang terbentuk kemudian diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 552 nm untuk menentukan konsentrasi sisa klorin dalam sampel air. Pengukuran sisa klorin dilakukan pada beberapa titik distribusi, yaitu titik sumber (IPA Minomartani), titik terdekat, titik tengah, dan titik terjauh jaringan distribusi. Pengambilan sampel dilakukan dua kali sehari, yaitu pagi dan sore hari, untuk mengetahui perubahan konsentrasi sisa klorin selama proses distribusi.

3. Tahap Penentuan Dosis Klorin

Penentuan dosis klorin dilakukan berdasarkan kebutuhan desinfektan pada sistem distribusi air minum. Perhitungan dosis pembubuhan mengacu pada debit produksi air dan kebutuhan kaporit harian yang digunakan di IPA Minomartani. Pada penelitian ini diketahui debit produksi air sebesar 5,5 L/detik dengan kebutuhan kaporit cair sebesar 1,5 kg/hari. Larutan kaporit yang digunakan memiliki kandungan klorin aktif sekitar 12%. Perhitungan dosis pembubuhan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$W = Q \times C \times Rs \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

W = jumlah kaporit yang dibutuhkan (mg/s)

Q = debit air baku (L/detik)

C = kadar Cl₂ dalam Ca (OCl)₂

Rs = dosis pembubuhan (mg/l)

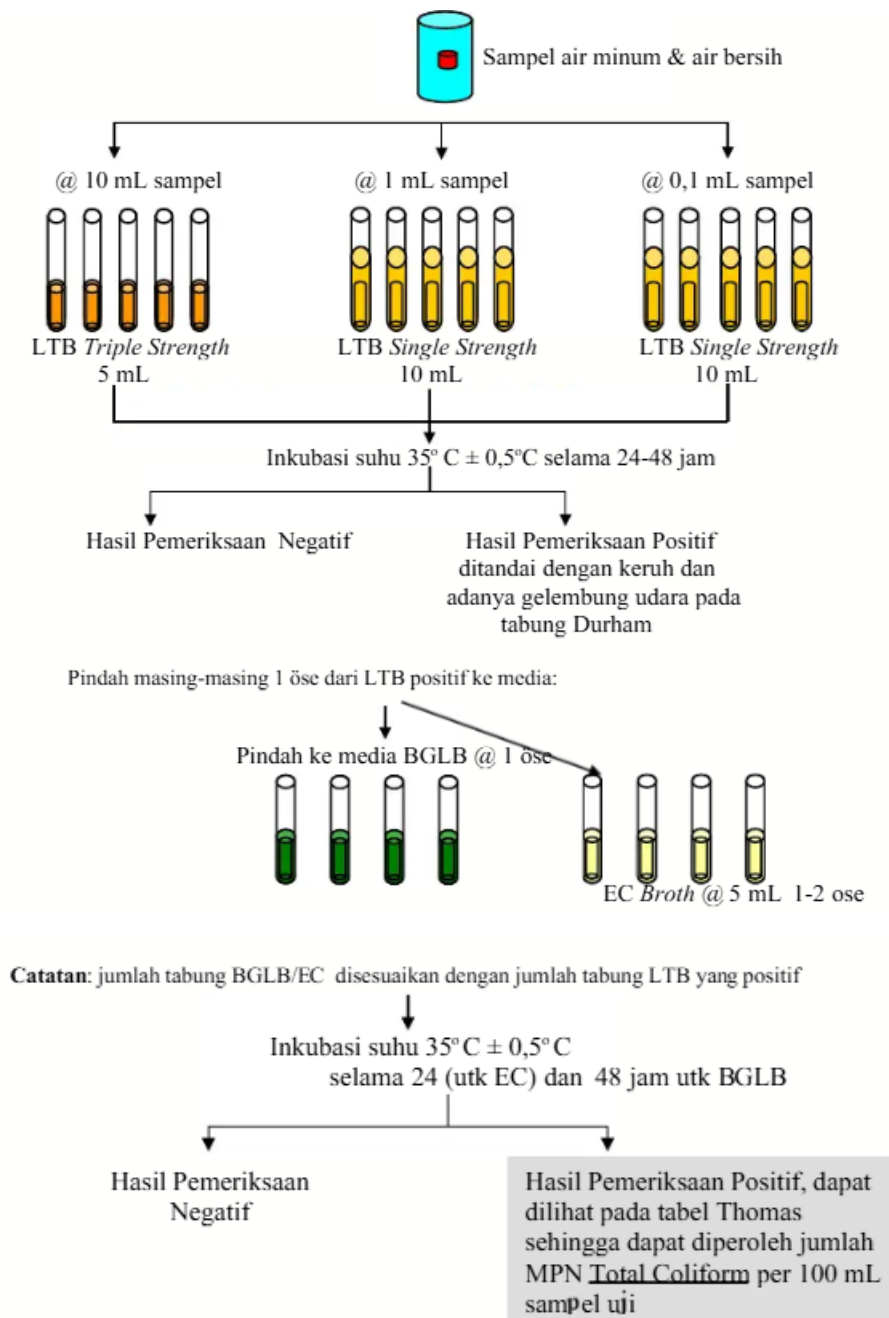
3.6 Pengujian Bakteri Total *Coliform*

Pengujian bakteri *coliform* bertujuan untuk menetapkan Jumlah Perkiraan Terdekat (JPT) atau *Most Probable Number* (MPN) dari 100 mL sampel air. Tes ini terbagi menjadi 2 tahapan yaitu tes perkiraan dan tes penetapan. Diagram alir tahapan uji coba total *coliform* dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

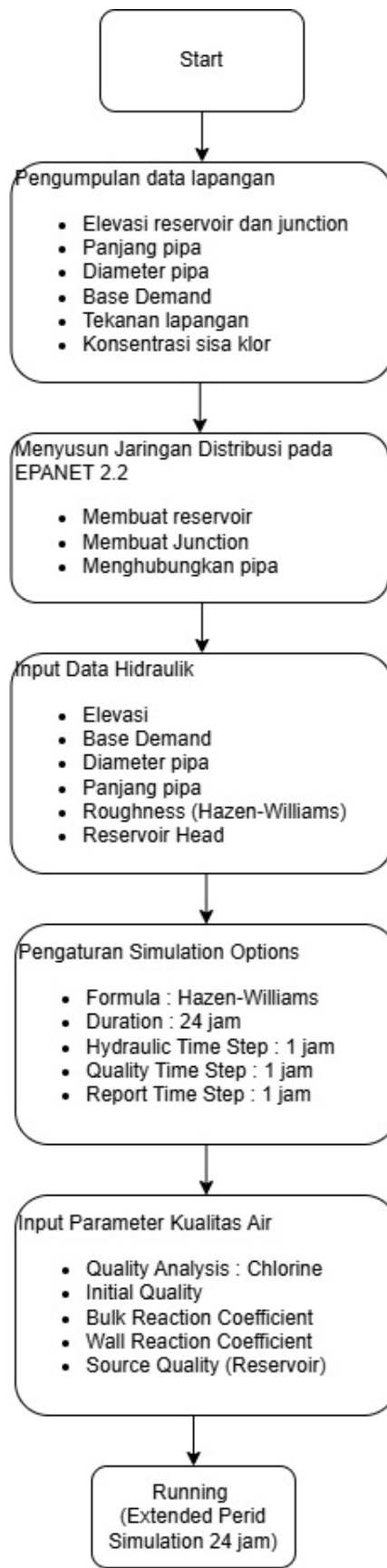
3.7 Analisis *EPANET 2.2*

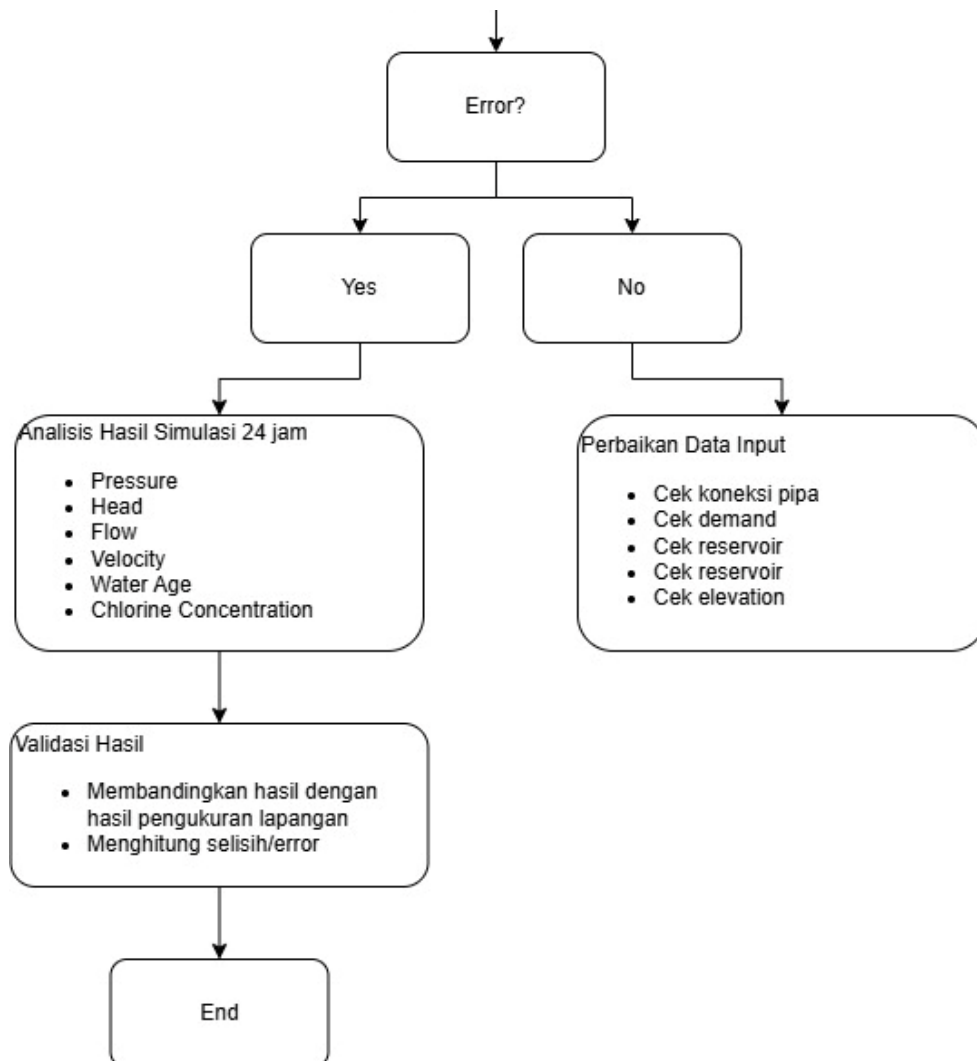
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil pengambilan sample di lapangan berupa air pelanggan PERUMDA untuk mengetahui konsentrasi klorin yang terkandung dalam air distribusi. Selain itu, digunakan pula data sekunder yang mendukung proses pemodelan jaringan, seperti data lokasi pelayanan, panjang pipa, diameter pipa, jenis pipa, serta debit kebutuhan air.

Seluruh data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan pemodelan jaringan distribusi air menggunakan perangkat lunak *EPANET 2.2*.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengujian Total *Coliform*





Gambar 3. 7 Diagram Analisis EPANET

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum PERUMDA Tirtra Sembada IPA Minomartani

PERUMDA Minomartani merupakan badan usaha milik daerah yang bergerak melayani distribusi air bersih untuk wilayah padat penduduk di kawasan Sleman bagian tengah. IPA ini memiliki peran penting dalam mendistribusikan air bersih kepada pelanggan, fasilitas umum, maupun kegiatan usaha yang berada di kawasan pelayanan.

Cakupan pelayanan IPA Minomartani meliputi wilayah Kelurahan Minomartani dan daerah sekitarnya di Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman. Berdasarkan data internal Perumda tahun 2026, jumlah sambungan rumah (SR) aktif pada IPA Minomartani sebanyak 2.186 sambungan. Dari jumlah tersebut, sebagian besar pelanggan telah memperoleh tekanan distribusi yang memenuhi standar pelayanan. Sambungan rumah dengan tekanan lebih dari 0,7 kg/cm² tercatat sebanyak 2.086 SR, sedangkan sambungan rumah dengan tekanan kurang dari 0,7 kg/cm² sebanyak 100 SR.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah pelayanan IPA Minomartani telah memiliki tekanan distribusi yang cukup baik. Tekanan air dalam sistem distribusi merupakan salah satu parameter penting karena memengaruhi kontinuitas dan kenyamanan pelayanan kepada pelanggan. Tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan aliran air tidak optimal, terutama pada jam pemakaian puncak atau pada daerah dengan elevasi lebih tinggi.

Sistem distribusi pada IPA Minomartani terdiri atas jaringan pipa distribusi utama dan pipa pelayanan dengan diameter yang bervariasi sesuai kebutuhan debit air. Jenis pipa yang digunakan berupa pipa PVC yang memiliki ketahanan terhadap tekanan dan korosi. Sumber air baku yang digunakan IPA Minomartani berasal dari sumur dalam (*deep well*) yang kemudian didistribusikan melalui jaringan perpipaan menuju wilayah

pelayanan. Instalasi IPA Minomartani memiliki kapasitas produksi sekitar 15 L setiap detik, menggunakan pompa untuk pendistribusian dari IPA, debit produksi mencapai 1325 m³ dengan waktu distribusi selama 24 jam. Sistem distribusi terdiri atas pipa transmisi, pipa distribusi utama, serta pipa pelayanan yang menghubungkan jaringan dengan pelanggan. Jenis pipa yang digunakan berupa pipa PVC dengan diameter yang bervariasi 100mm – 40mm sesuai dengan kebutuhan debit dan cakupan pelayanan.

Berdasarkan hasil pengujian kualitas air pada outlet reservoir Minomartani, parameter fisik air seperti Total Dissolved Solid (TDS), kekeruhan, warna, dan bau masih memenuhi baku mutu air minum sesuai ketentuan yang berlaku. Nilai TDS tercatat sebesar 167 mg/L dan kekeruhan sebesar 0,09 NTU, yang menunjukkan kualitas air distribusi masih dalam kondisi baik. Selain itu, sisa klorin terlarut sebesar 0,86 mg/L menunjukkan bahwa proses desinfeksi pada sistem distribusi masih berjalan dengan baik untuk menjaga kualitas mikrobiologis air selama pendistribusian.

Dalam pengoperasiannya, IPA Minomartani juga menghadapi beberapa kendala, seperti perubahan kebutuhan air pada jam puncak, kehilangan tekanan pada beberapa titik jaringan, serta penambahan jumlah pelanggan setiap tahunnya. Oleh karena itu, evaluasi jaringan distribusi diperlukan untuk mengetahui kondisi tekanan, debit, dan kecepatan aliran pada sistem perpipaan. Evaluasi tersebut dapat dilakukan menggunakan EPANET sehingga kondisi hidraulika jaringan dapat dianalisis secara lebih rinci dan digunakan sebagai dasar perbaikan maupun pengembangan sistem distribusi air bersih di IPA Minomartani. Skema pengolahan dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**

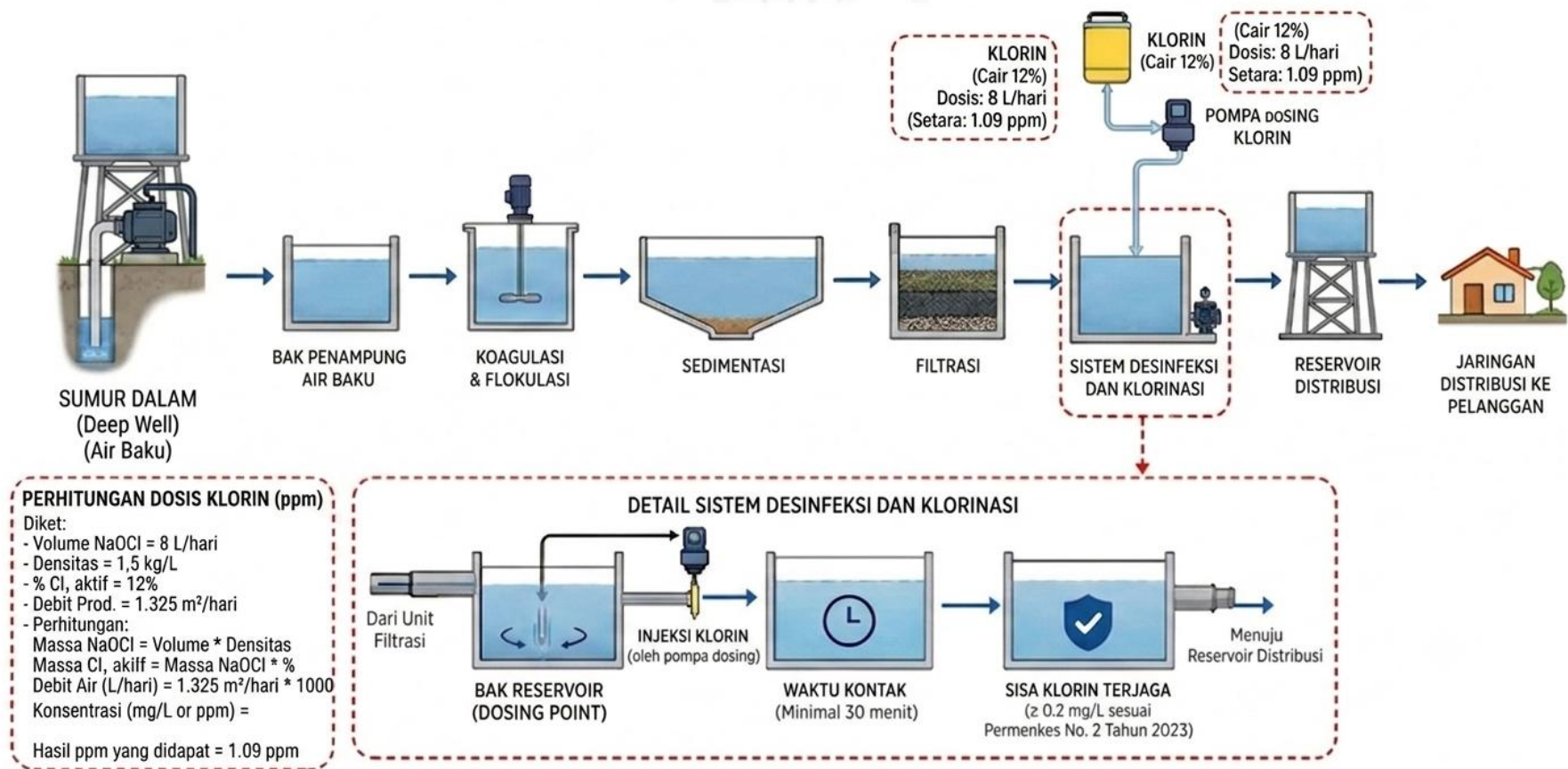
Secara topografi, wilayah Minomartani memiliki kondisi elevasi yang relatif bervariasi sehingga memengaruhi tekanan dalam jaringan distribusi air. Perbedaan elevasi menyebabkan beberapa wilayah tekanan yang lebih tinggi maupun lebih rendah dibandingkan daerah lainnya. Oleh sebab itu, pengelolaan jaringan distribusi perlu dilakukan secara optimal agar tekanan air tetap sesuai dengan standar pelayanan.

Untuk meningkatkan efektivitas pelayanan, Perumda melakukan pengelolaan jaringan distribusi melalui pemantauan debit, tekanan, dan kondisi jaringan perpipaan secara berkala. Selain itu, evaluasi sistem distribusi juga dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak hidraulika seperti *EPANET* guna mengetahui kondisi aliran, tekanan, dan kecepatan aliran pada jaringan perpipaan. Hasil evaluasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pengembangan maupun perbaikan sistem distribusi air bersih di wilayah pelayanan IPA Minomartani.

Dengan adanya pengelolaan dan evaluasi yang baik, diharapkan IPA Minomartani dapat terus meningkatkan kualitas pelayanan air bersih sehingga kebutuhan masyarakat terhadap air bersih dapat terpenuhi secara optimal. Menggunakan klorin cair 12% sebelum air dialirkan menuju reservoir dan didistribusikan ke pelanggan melalui jaringan perpipaan. IPA Minomartani dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 Lokasi IPA Minomartani



Gambar 4. 2 Skema IPA Minomartani

4.1.1 Kualitas Air Baku IPA Minomartani

Kualitas air baku pada IPA Minomartani menurut data sekunder dari bagian Produksi di PERUMDA Sleman pada bulan April 2026 disesuaikan dengan kebutuhan pelayanan distribusi wilayah pelayanan. IPA Minomartani menggunakan sumber air sumur dangkal karena kondisi lingkungan dan kepadatan penduduk. Oleh sebab itu, pengolahan dan sistem disinfeksi IPA Minomartani berperan menjaga kualitas air hasil produksi untuk memenuhi standar kualitas. Berdasarkan data sekunder PERUMDA, Fe dan TDS yang telah diuji berada dibawah kadar maksimum yang diperbolehkan seperti **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Data Sekunder Kualitas Air Baku IPA Minomartani

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Hasil Uji	Metode Uji
TDS	mg/L	<300	167	Elektrikal Conductivity
Fe	mg/L	0,3	0,05	SNI 6989.84-2019

Sumber: Hasil Pemeriksaan Kualitas Air PERUMDA Sleman (April 2026)

4.2 Tekanan Air Wilayah Penelitian

Tekanan air pelanggan diketahui secara langsung dengan kurun waktu 4 hari berturut turut, dimulai dari tanggal 27 April 2026-30 April 2026. Waktu pengukuran dilakukan dua kali dalam satu hari pada pagi hari pukul 06.00-07.00 WIB dan sore hari pukul 17.00-18.00. Pengukuran dilakukan di 4 titik pengukuran dilihat dari cakupan pelayanan jarak terdekat, tengah, dan terjauh dari IPA Minomartani. **Tabel 4.2** merupakan data primer rata-rata tekanan air pelanggan yang diukur menggunakan manometer selama 4 hari.

Tabel 4. 2 Rata-Rata Tekanan Air

No	Lokasi	Rata-rata Waktu		Rata-rata Keseluruhan
		Pagi	Sore	
1	Minomartani	1.175	1.1	1.1375
2	Terdekat	0.9	1.45	1.175
3	Tengah	0.85	1.15	1
4	Terjauh	1.725	1.775	1.75

Sumber: Data Lapangan Peneliti

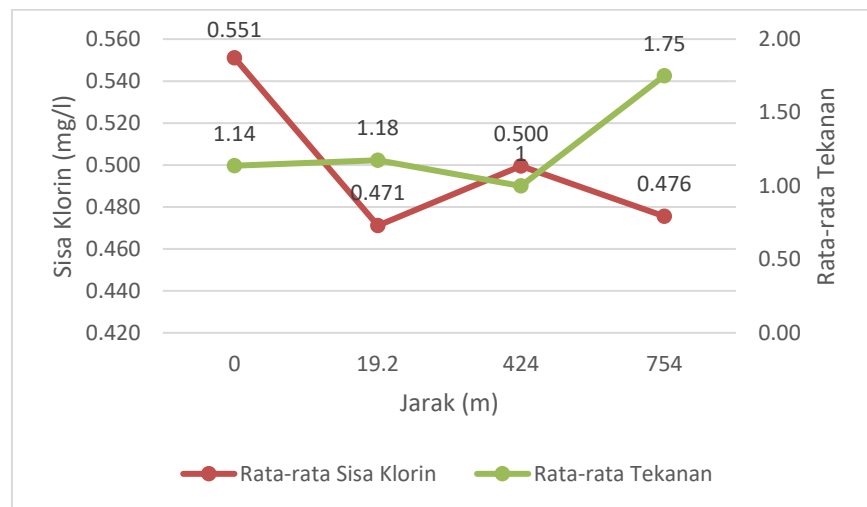
Data tekanan rata-rata di IPA Minomartani adalah 1, dengan jumlah SR dengan tekanan $\geq 0,7$ kg/cm³ sebanyak 2086, sedangkan jumlah SR dengan tekanan $< 0,7$ kg/cm³ 100, dengan data total SR aktif sebanyak 2,186. Menurut BPPSPAM, pelanggan harus mendapatkan tekanan melebihi 0,7 bar atau 0,7 kg/cm³. Pada **Tabel 4.2.** dapat dilihat bahwa tekanan air memenuhi kriteria walaupun sudah mendekati 0,7 kg/cm³.

Selain jarak, tekanan air juga diperhatikan dalam penelitian ini. Tekanan yang telah diukur disajikan dalam **Tabel 4.3** kemudian dibandingkan dengan jarak dan sisa klorin disajikan dalam kurva seperti pada **Gambar 4.3**

Tabel 4. 3 Data Elevasi Titik Sampling dan Tekanan

No	Lokasi	Elevasi (m)	Rata-rata Keseluruhan Tekanan
1	T1	163.7	1.14
2	T2	178	1.18
3	T3	180.9	1
4	T4	181.4	1.75

Berdasarkan pada **Tabel 4.3** diatas dapat dilihat pada 4 titik lokasi memiliki nilai tekanan yang berbeda-beda tergantung dari jarak dekat jauhnya dari sumber utama. Besarnya tekanan dipengaruhi tekanan air yang dikirim pada sumber utama dengan semakin jauh dari sumber mata air maka tekanan akan semakin kecil.



Gambar 4. 3 Perbandingan Tekanan, Jarak, dan Sisa Klorin

Tekanan air yang ada dapat mempengaruhi nilai koefisien penurunan atau Bulk Reaction di EPANET. Tekanan pada pipa bergantung dari besar diameter dan debit aliran pada jaringan. Tekanan air pada pipa mempengaruhi kecepatan aliran, dimana kecepatan aliran dapat mempengaruhi laju penurunan sisa klorin pada pipa. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin kecil nilai koefisien laju penurunan sisa klorin, sehingga dapat dikatakan bahwa tekanan air mempengaruhi penurunan sisa klorin secara tidak langsung. Nilai koefisien yang ada dapat membantu menunjukkan penurunan sisa klorin didalam jaringan, maka dari itu jarak dan tekanan berpengaruh pada sisa klorin.

Berdasarkan **Gambar 4.3** terlihat adanya hubungan antara jarak distribusi, tekanan air, dan konsentrasi sisa klorin pada jaringan distribusi. Grafik menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klorin cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak distribusi, meskipun pada titik

tertentu terjadi kenaikan konsentrasi. Sementara itu, nilai tekanan pada jaringan distribusi menunjukkan pola yang berbeda, dimana tekanan pada titik terjauh justru mengalami peningkatan dibandingkan titik sebelumnya.

Konsentrasi sisa klorin pada titik sumber sebesar 0,551 mg/L, kemudian mengalami penurunan pada titik dengan jarak 19,2 m menjadi 0,471 mg/L. Penurunan ini dapat terjadi karena klorin mulai bereaksi dengan zat organik, mikroorganisme, maupun material lain yang terdapat dalam air dan jaringan perpipaan. Selama air mengalir di dalam pipa, klorin aktif akan terus mengalami konsumsi akibat proses oksidasi sehingga konsentrasinya berkurang.

Namun, pada titik ketiga dengan jarak 424 m, konsentrasi sisa klorin mengalami kenaikan menjadi 0,50 mg/L. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah terjadinya pencampuran aliran (*mixing*) dari cabang jaringan distribusi lain yang masih memiliki konsentrasi klorin lebih tinggi. Selain itu, kondisi aliran yang lebih cepat pada titik tersebut juga dapat menyebabkan waktu tinggal air (*water age*) menjadi lebih singkat sehingga reaksi penurunan klorin berlangsung lebih lambat. Faktor lain yang dapat memengaruhi adalah fluktuasi penggunaan air oleh pelanggan. Ketika konsumsi air meningkat, air di dalam pipa akan bergerak lebih cepat sehingga sisa klorin yang sampai ke titik pengamatan masih relatif tinggi.

Pada titik terjauh dengan jarak 754 m, konsentrasi sisa klorin kembali mengalami penurunan menjadi 0,476 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang jarak distribusi maka semakin lama air berada di dalam jaringan perpipaan, sehingga reaksi penurunan klorin akan terus berlangsung selama proses distribusi menuju pelanggan.

Sementara itu, grafik tekanan menunjukkan bahwa tekanan pada titik terjauh justru mengalami peningkatan hingga mencapai 1,75. Kondisi ini dapat terjadi karena beberapa faktor hidraulik dalam jaringan distribusi. Salah satu penyebab utama adalah perbedaan elevasi antara titik pengamatan. Apabila titik terjauh berada pada elevasi yang lebih rendah

dibandingkan titik sebelumnya, maka tekanan air dapat meningkat akibat pengaruh gravitasi. Selain itu, kemungkinan jumlah pelanggan atau pemakaian air pada titik terjauh lebih sedikit sehingga kehilangan tekanan akibat aliran (headloss) menjadi lebih kecil. Ketika debit yang mengalir menurun, tekanan statis dalam pipa dapat meningkat.

Peningkatan tekanan pada titik terjauh juga dapat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan distribusi, seperti adanya percabangan pipa, perubahan diameter pipa, maupun suplai aliran dari jalur distribusi lain. Jika pada titik tersebut terjadi akumulasi tekanan atau distribusi aliran lebih kecil, maka tekanan yang terbaca dapat lebih tinggi dibandingkan titik sebelumnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan dalam jaringan perpipaan tidak selalu menurun seiring bertambahnya jarak, tetapi dipengaruhi pula oleh kondisi topografi, pola pemakaian air, dan karakteristik hidraulik jaringan distribusi.

4.3 Total Bakteri Coliform

Berdasarkan PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023, kualitas air minum yang didistribusikan kepada pelanggan harus memenuhi persyaratan mikrobiologi dengan jumlah total coliform sebesar 0 (nol). Pada penelitian ini, pengambilan sampel untuk pengujian total coliform dilakukan sebanyak 8 sampel pada 4 titik pelayanan yang sama dengan titik pengambilan sampel klorin, yaitu T1 (IPA Minomartani), T2 (Terdekat), T3 (Tengah), dan T4 (Terjauh). Pengambilan sampel dilakukan dua kali dalam sehari, yaitu pada pagi hari pukul 07.00–08.00 WIB dan sore hari pukul 15.00–16.00 WIB.

Sebelum pengambilan sampel air pelanggan dilakukan, botol sampel terlebih dahulu disterilisasi menggunakan air hangat untuk meminimalkan potensi kontaminasi. Selain itu, pada saat pengambilan sampel, bagian ujung botol dan ujung kran dipanaskan menggunakan api guna menjaga kondisi steril selama proses sampling berlangsung.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap parameter total Coliform pada seluruh titik sampling (Titik 1, Titik Terdekat, Titik Tengah,

dan Titik Terjauh) baik pada waktu pagi maupun sore hari, didapatkan hasil sebesar 0 CFU/100ml.

Hasil ini menunjukkan bahwa air bersih pada jaringan distribusi wilayah Minomartani telah memenuhi persyaratan kualitas biologi sesuai dengan PERMENKES No. 2 Tahun 2023 (atau standar regulasi yang Anda gunakan), di mana kadar maksimum total Coliform untuk air minum/bersih adalah 0 per 100 ml sampel.

Kondisi steril ini sejalan dengan keberadaan sisa klorin bebas di sepanjang pipa distribusi yang berada pada rentang 0,471 mg/l hingga 0,551 mg/l. Sisa klorin yang konisten berada di atas batas minimum standar (0,2 mg/l) ini terbukti efektif dalam menginaktivasi dan membunuh bakteri patogen serta mencegah terjadinya rekontaminasi biologis (pencemaran sekunder) selama air mengalir dari IPA Minomartani hingga ke titik konsumen terjauh.

Dengan demikian, bakteri coliform dan sisa klorin merupakan dua parameter yang sebenarnya saling berpengaruh karena keberadaan bakteri coliform dapat diatasi dengan sisa klorin .

4.4 Klorinasi

Unit disinfeksi merupakan tahap pengolahan terakhir pada sistem distribusi air bersih sebelum air didistribusikan kepada pelanggan. Proses disinfeksi bertujuan untuk membunuh atau menonaktifkan mikroorganisme patogen yang masih terdapat di dalam air sehingga kualitas air tetap aman dan memenuhi standar kualitas air minum. Selain itu, proses disinfeksi juga bertujuan menjaga kualitas air selama proses distribusi melalui jaringan perpipaan hingga sampai ke pelanggan.

Pada IPA Minomartani, Klorin cair yang digunakan merupakan hasil dari pemberian PERUMDA Sleman yang akan diantarkan ke IPA Minomartani setiap hari sehingga IPA Minomartani dapat membubuhkan klorin pada bak reservoir sebelum air didistribusikan ke jaringan pelayanan.

Klorin yang digunakan berupa kaporit *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.

Sejak akhir tahun 2025 PERUMDA Sleman mengganti jenis klorin dari klorin bubuk menjadi klorin cair, salah satu keuntungan menggunakan klorin cair yaitu klorin cair memiliki residu yang sangat minim dibandingkan klorin bubuk. Pembubuhan klorin dilakukan secara berkala dengan dosis tertentu menyesuaikan debit distribusi dan kebutuhan sisa klor dalam jaringan perpipaan.

Berdasarkan hasil pengujian kualitas air pada outlet reservoir Minomartani, kadar sisa klor terlarut sebesar 0,86 mg/L. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses desinfeksi masih berjalan dengan baik dalam menjaga kualitas mikrobiologis air selama proses distribusi. Namun demikian, kadar sisa klor tetap perlu dikontrol agar tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah sehingga tetap sesuai dengan standar kualitas air.



Gambar 4. 4 Klorin (Sodium Hypochlorite)

Menurut PUPR Nomor 28 Tahun 2023 pembubuhan kaporit harus memiliki waktu detensi minimal 30 menit, berkaitan dengan jumlah coliform pada jaringan distribusi. Selain itu perlu diketahui debit

pembubuhan dari pompa dosing pada unit desinfeksi. Untuk mengetahui debit pembubuhan perlu diketahui terlebih dahulu volume larutan dan pelarut dan juga konsentrasi kaporit yang digunakan. Hasil observasi dan data bulanan menunjukkan bahwa kebutuhan klorin setiap hari sebesar 8 liter, perhitungan debit pembubuhan dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\text{Volume Larutan} = \text{Volume kaporit} + \text{Volume Pelarut} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Volume Kaporit} = \frac{\text{Massa Kaporit}}{\text{Densitas}} \dots \dots \dots (4)$$

$$= \frac{8 \text{ liter/hari}}{1040 \text{ liter/m}^3} = 0,0076 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Volume Larutan} = \frac{100}{8} \times 0,0076 = 0,095 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Volume Pelarut} = 0,095 - 0,0076 = 0,0874 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Debit Pembubuhan} = \frac{\text{Volume larutan}}{t} \dots \dots \dots (5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{8 \text{ Liter}}{24 \text{ jam}} \\ &= 0,333 \text{ L/jam} \\ &= 333 \text{ mL/jam} \end{aligned}$$

Dari data yang telah dihitung, didapatkan hasil debit pembubuhan sebesar 333 mL/jam pada jaringan distribusi IPA Minomartani. Debit pembubuhan digunakan untuk mengetahui interval waktu pembuatan kaporit setiap harinya. Dibutuhkan waktu 24 jam hingga disinfeksi habis, dihitung dengan volume larutan dibagi dengan debit pembubuhan, dengan volume larutan sebesar 8 liter per hari. Debit pembubuhan dapat berubah sewaktu-waktu, bisa menjadi lebih besar ataupun lebih kecil. Hal ini mempengaruhi penurunan konsentrasi klorin yang mengalir dari reservoir. Oleh karena itu, diperlukan pengecekan debit secara berkala untuk mendapatkan konsentrasi klorin dalam jaringan distribusi. Hasil pengukuran klorin pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Cara menghitung Penurunan sisa klorin yang berpengaruh dengan jarak distribusi, rumus yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (6) dan perhitungan presentase penurunan dilihat pada rumus (7).

$$\Delta C = C_0 - C_t \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

ΔC = Penurunan sisa klorin (mg/L)

C_0 = Konsentrasi awal

C_t = Konsentrasi pada titik pengamatan

$$\Delta C = 0,551 - 0,471$$

$$\Delta C = 0,080 \frac{mg}{L}$$

Presentase Penurunan

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

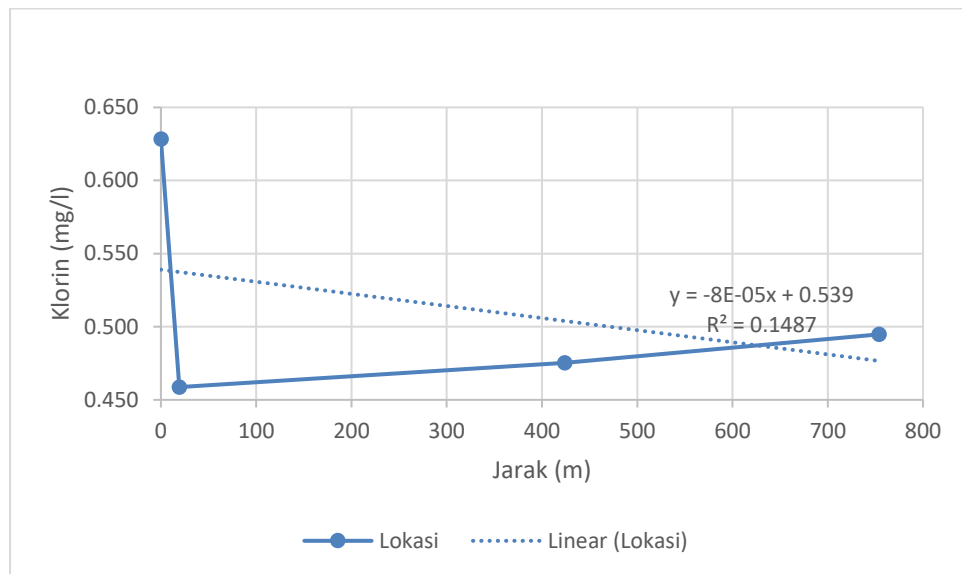
$$= \frac{0,551 - 0,471}{0,551} \times 100\%$$

$$= 14,5 \%$$

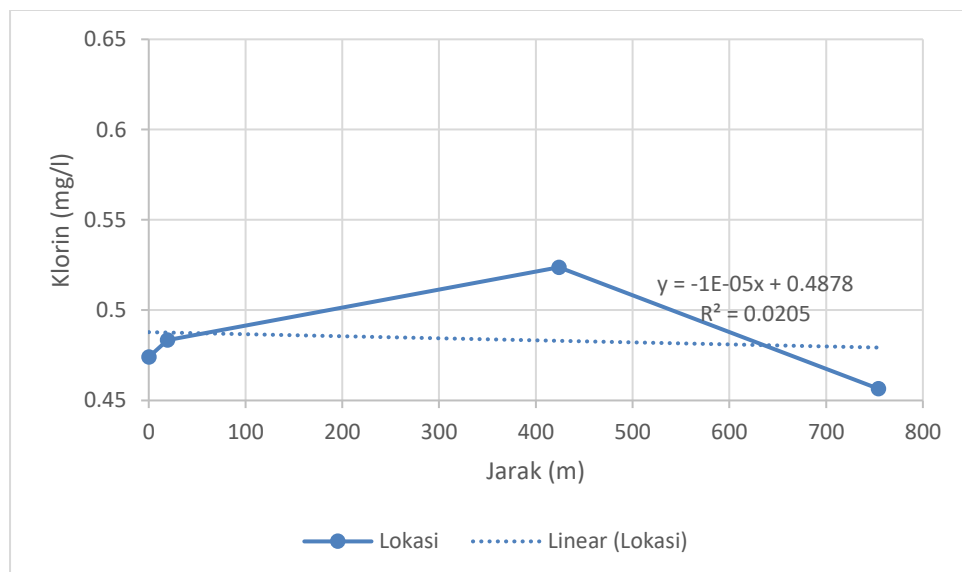
Hasil pengukuran konsentrasi sisa klorin kemudian disajikan dalam bentuk kurva pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** untuk melihat hubungan antara jarak distribusi dengan perubahan konsentrasi klorin pada jaringan perpipaan.

Tabel 4. 4 Konsentrasi Rata-Rata Sisa Klorin

No	lokasi	Lokasi		rata-rata keseluruhan klor	Panjang Pipa (m)	Penurunan Klorin (m pipa)
		pagi	sore			
1	Minomartani	0.628	0.474	0.551	0	0
2	Terdekat	0.459	0.484	0.471	19.2	0.527
3	Tengah	0.475	0.524	0.500	424	0.550
4	Terjauh	0.495	0.457	0.476	754	0.550



Gambar 4. 5 Perbandingan Konsentrasi dan Jarak Pagi



Gambar 4. 6 Perbandingan Konsentrasi dan Jarak Sore

Selain itu, dilakukan pula analisis korelasi menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) guna mengetahui tingkat hubungan antara kedua variabel tersebut. Pengukuran konsentrasi klorin dilakukan sebanyak dua kali dalam sehari selama empat hari pengamatan sehingga diperoleh data yang dapat menggambarkan kondisi sisa klorin pada jaringan distribusi secara lebih representatif. Semua hasil pengukuran klorin telah sesuai

dengan standar sisa klor bebas pada sistem distribusi air minum. Kadar sisa klor bebas yang direkomendasikan pada jaringan distribusi umumnya berada pada kisaran 0,2-1,0 mg/L atau 0,2 ppm - 1 ppm (PERMENKES No. 2 Tahun 2023).

4.5 Pemodelan *EPANET*

EPANET dapat digunakan sebagai pemodelan kualitas air pada jaringan distribusi PERUMDA. Hasil pengukuran lapangan berupa data primer dan sekunder yang telah didapat kemudian di input ke *EPANET*. Untuk mengetahui penurunan kadar klorin pada *EPANET* diperlukan data lokasi titik sampling untuk mengetahui jarak antar titik sampling, data konsentrasi klorin sesuai dengan pengujian lapangan, data sekunder seperti debit, elevasi, dan diameter pipa. Hasil survey dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4. 5 Data Primer dan Sekunder Jaringan Distribusi

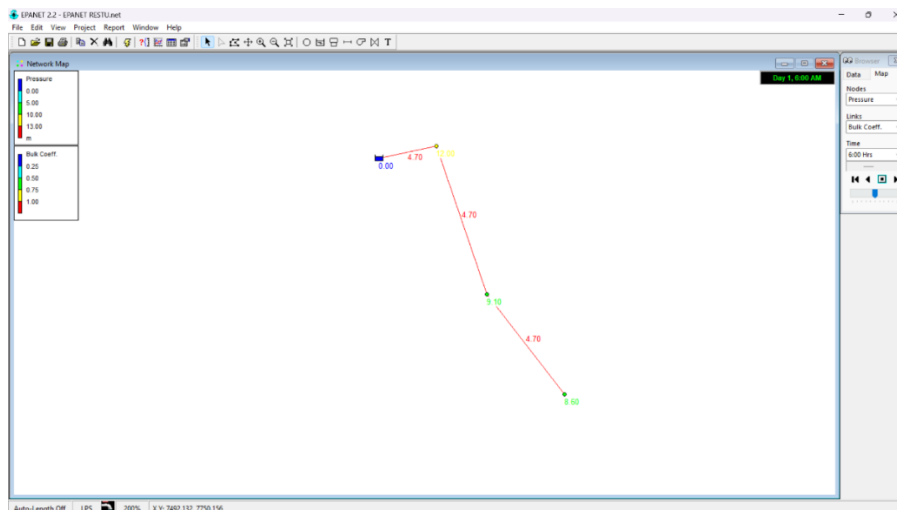
No	lokasi		konsentrasi sisa klor		panjang pipa (m)	diameter pipa (mm)	debit (m ³ /s)	kecepatan (m/s)
	titik 1	titik 2	titik 1	titik 2				
1	IPA Minomartani	Terdekat	2,33	2,03	19.2	50	0,0015	0,76
2	Terdekat	tengah	2,03	2,09	424	50	0,0015	0,76
3	Tengah	terjauh	2,09	2,04	754	50	0,0015	0,76

Data konsentrasi yang telah didapat kemudian digunakan untuk perhitungan koefisien penurunan sisa klorin (*Bulk Reaction*) untuk di input ke *EPANET*. Data yang diperlukan untuk menghitung koefisien *Global bulk Reaction* ditunjukkan pada **Tabel 4.6**.

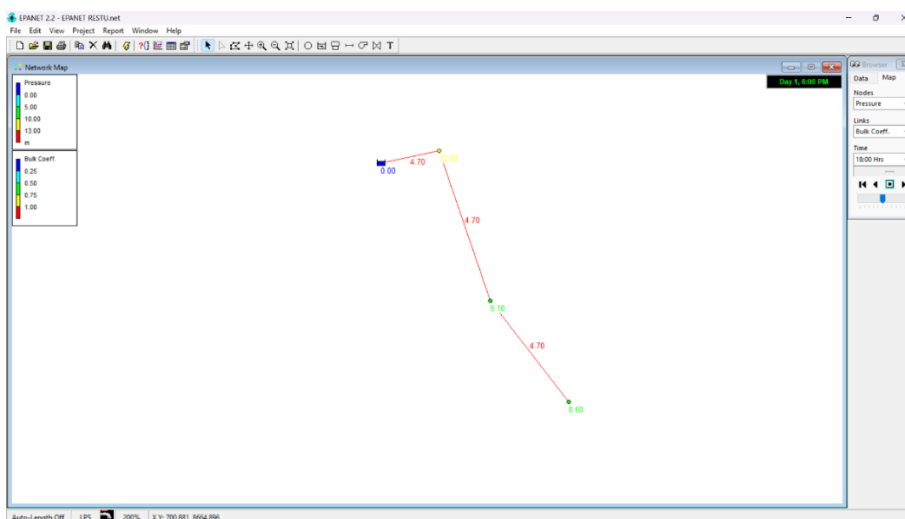
Data yang telah didapat pada **Tabel 4.6** kemudian dimasukkan ke rumus sehingga didapat nilai koefisien rata-rata sebesar -0,0050972. Nilai tersebut di input melalui *Option – Reactions* pada *Browser – Global Bulk Reaction*. Setelah koefisien dimasukkan, data yang diperoleh setelah dilakukan proses running terlihat seperti **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**.

Tabel 4. 6 Perhitungan Koefisien Penurunan Sisa Klor

Koefisien Penurunan				K rata-rata
Titik	Terdekat	Tengah	Terjauh	4.70343
Ce	2.03	2.09	2.04	
Co	2.33	2.03	2.09	
L	19.2	424	754	
V	0.76	0.76	0.76	
K	1.937770833	2.08636132	2.037893369	



Gambar 4. 7 Peta EPANET Jaringan Distribusi Jam 06.00 Pagi

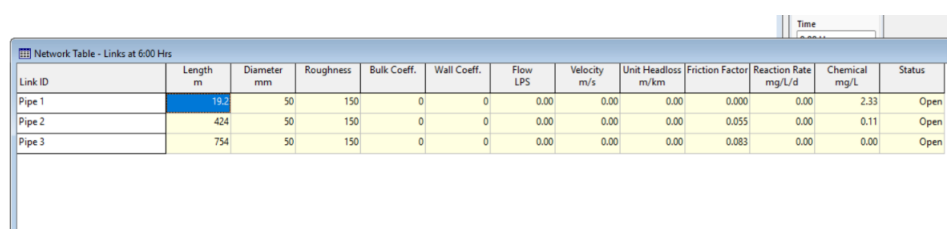


Gambar 4. 8 Peta EPANET Jaringan Distribusi Jam 18.00 Sore

Pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** merupakan peta jaringan distribusi dengan berbagai macam variasi warna yang memiliki keterangan nilai khusus. Gambar tersebut menunjukkan simulasi pada jam 06.00 pagi dan 18.00 sore, dapat dilihat bahwa warna pada pipa menunjukkan warna merah dengan keterangan pada kotak disebelah kiri yang menunjukkan tekanan pada setiap titik berbeda berkisar antara 0-12.00. dan konsentrasi *bulk coefficient* berkisar antara 0.25-1.00.

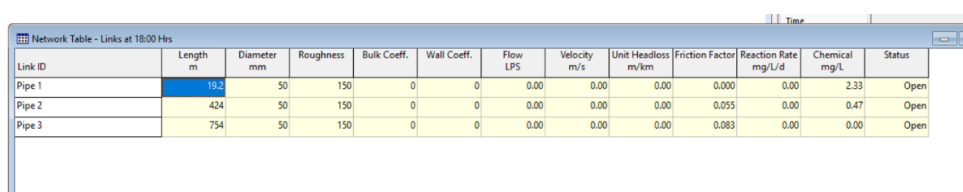
Gambar 4.11 merupakan Perubahan konsentrasi selama 24 jam diambil dari data perubahan pipa pada pipa 2. Rentang waktu penelitian ini dapat diatur dari software *EPANET 2.2* dengan membuka pilihan option-time pada tabel kecil disebelah kanan tampilan. Pada tabel dari *EPANET* menunjukkan data sisa klorin mulai dari jam 00:00 sampai jam 24:00. Perubahan konsentrasi pada hasil *EPANET* stabil, hal ini menunjukkan bahwa sistem distribusi memiliki kondisi bahwa proses injeksi klorin, debit aliran, serta pola pemakaian air dalam simulasi berada dalam kondisi konstan sehingga tidak terjadi fluktuasi konsentrasi sisa klor yang signifikan.

Perbandingan hasil pengukuran data lapangan dan hasil pemodelan dengan *EPANET* dapat ditentukan dengan menghitung selisih konsentrasi dibagi dengan intial quality yang telah di input kemudian dikali dengan 100%. Sebagai contoh pengukuran titik sesuai dengan **Tabel 4.5** yaitu 2,03 mg/l dan hasil pengukuran *EPANET* memiliki perbedaan sebesar 1,4 %.



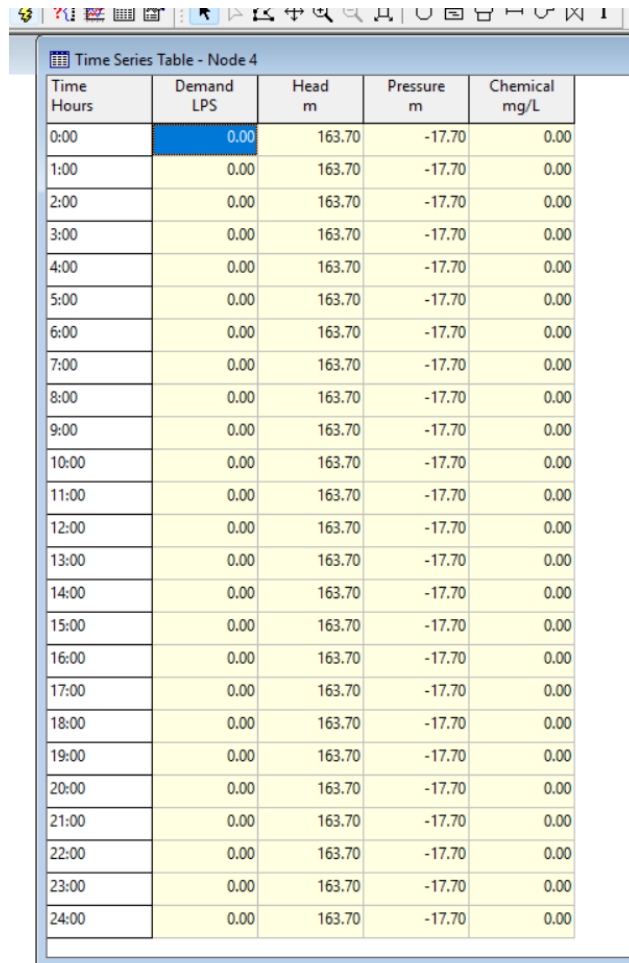
Link ID	Length m	Diameter mm	Roughness	Bulk Coeff.	Wall Coeff.	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Reaction Rate mg/L/d	Chemical mg/L	Status
Pipe 1	19.2	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	2.33	Open
Pipe 2	424	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.055	0.00	0.11	Open
Pipe 3	754	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.083	0.00	0.00	Open

Gambar 4. 9 Penurunan Konsentrasi Klorin pada Simulasi Jam 06:00



Link ID	Length m	Diameter mm	Roughness	Bulk Coeff.	Wall Coeff.	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Reaction Rate mg/L/d	Chemical mg/L	Status
Pipe 1	19.2	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	2.33	Open
Pipe 2	424	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.055	0.00	0.47	Open
Pipe 3	754	50	150	0	0	0.00	0.00	0.00	0.083	0.00	0.00	Open

Gambar 4. 10 Penurunan Konsentrasi Klorin pada Simulasi Jam 18:00



Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Chemical mg/L
0:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
1:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
2:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
3:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
4:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
5:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
6:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
7:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
8:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
9:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
10:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
11:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
12:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
13:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
14:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
15:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
16:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
17:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
18:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
19:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
20:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
21:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
22:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
23:00	0.00	163.70	-17.70	0.00
24:00	0.00	163.70	-17.70	0.00

Gambar 4. 11 Perubahan Konsentrasi Klorin pada pukul 00:00-24:00 WIB

4.6 Identifikasi Masalah dan Rekomendasi

Hasil observasi lapangan, pengukuran kualitas air, serta pemodelan menggunakan EPANET menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa kondisi pada jaringan distribusi IPA Minomartani yang perlu diperhatikan agar kualitas air minum tetap memenuhi standar yang berlaku. Identifikasi permasalahan dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian terhadap regulasi yang berlaku, terutama berdasarkan PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023 mengenai persyaratan kualitas air minum dan Permen PUPR terkait sistem penyediaan air minum. Adapun identifikasi permasalahan beserta rekomendasi peningkatan kinerja jaringan distribusi disajikan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Identifikasi Permasalahan dan Rekomendasi

No	Permasalahan	Potensi Penyebab	Regulasi yang Berlaku	Rekomendasi Peningkatan Kinerja
1	Penurunan sisa klorin pada titik distribusi	Jarak distribusi yang jauh dan waktu tinggal air terlalu lama	PERMENKES No.2 Tahun 2023	Monitoring residual klorin pada beberapa titik distribusi dan evaluasi jaringan distribusi menggunakan pemodelan EPANET
2	Kadar klorin pada beberapa titik distribusi rendah atau tidak stabil	Dosis pemberian klorin tidak sesuai dan waktu kontak kurang	PERMENKES No.2 Tahun 2023	Optimalisasi dosis disinfektan, pemeriksaan klorin secara rutin, dan evaluasi waktu kontak pada reservoir.

Berdasarkan **Tabel 4.7**, permasalahan utama pada jaringan distribusi IPA Minomartani berkaitan dengan penurunan konsentrasi sisa klorin selama proses distribusi, serta potensi kehilangan air pada jaringan perpipaan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klorin masih berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan yaitu 0,2 mg/L sesuai PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023, sehingga secara umum kualitas desinfeksi masih memenuhi standar. Namun demikian, adanya kecenderungan penurunan sisa klorin pada titik distribusi yang lebih jauh menunjukkan bahwa proses reaksi klorin masih berlangsung selama air berada di dalam jaringan distribusi.

Penurunan sisa klorin pada titik distribusi yang jauh disebabkan oleh jarak distribusi yang semakin panjang dan waktu tinggal air yang lebih lama di dalam jaringan perpipaan. Semakin jauh jarak distribusi dari reservoir

menuju pelanggan, maka semakin lama klorin bereaksi dengan bahan organik, mikroorganisme, serta dinding pipa sehingga konsentrasi sisa klorin mengalami penurunan. Selain itu, waktu kontak air yang terlalu lama dalam pipa juga menyebabkan kadar sisa klorin menurun selama proses distribusi. Faktor lain seperti kondisi hidraulik jaringan, kemungkinan endapan dalam pipa, dan kestabilan dosis pembubuhan klorin juga dapat memengaruhi penurunan konsentrasi sisa klorin pada titik terjauh distribusi.

Hasil analisis juga menunjukkan ketidakstabilan tekanan pada jaringan distribusi, dimana tekanan pada titik terjauh justru mengalami peningkatan dibandingkan titik sebelumnya. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor topografi, perubahan debit aliran, maupun konfigurasi jaringan distribusi. Oleh karena itu, evaluasi hidraulik menggunakan EPANET perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui kondisi tekanan dan distribusi aliran pada jaringan perpipaan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengukuran lapangan, analisis data, serta pemodelan menggunakan EPANET pada sistem distribusi air minum IPA Minomartani, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil evaluasi sistem desinfeksi pada IPA Minomartani, konsentrasi sisa klor bebas pada jaringan distribusi **memenuhi standar** kualitas air minum sesuai PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023. Hasil pengukuran laboratorium menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis menunjukkan konsentrasi sisa klor berkisar antara 0,471–0,5 mg/L. Hasil pemodelan menggunakan EPANET 2.2 juga menunjukkan konsentrasi klorin selama 24 jam memiliki selisih yang relatif kecil terhadap hasil pengukuran lapangan, sehingga model dinilai mampu merepresentasikan kondisi distribusi air pada IPA Minomartani.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa **jarak distribusi memengaruhi penurunan konsentrasi sisa klor bebas** pada jaringan perpipaan. Konsentrasi sisa klor cenderung menurun pada titik distribusi yang lebih jauh akibat waktu tinggal air (*water age*) yang lebih lama serta terjadinya reaksi klorin dengan bahan organik, mikroorganisme, dan dinding pipa selama proses distribusi. Namun, pada beberapa titik terjadi fluktuasi konsentrasi sisa klor yang dipengaruhi oleh kondisi hidraulik jaringan, tekanan distribusi, dan pola penggunaan air pelanggan.
3. Hasil pemeriksaan total coliform menunjukkan bahwa kualitas mikrobiologi air minum pada jaringan distribusi IPA Minomartani **memenuhi standar** yang berlaku, dimana jumlah total coliform pada titik pengamatan memenuhi baku mutu APHA 9221-B. Keberadaan sisa klor bebas pada jaringan distribusi berperan dalam menghambat pertumbuhan

bakteri coliform, sehingga kualitas air minum tetap terjaga hingga sampai ke pelanggan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian maupun peningkatan kinerja sistem distribusi air minum, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengukuran sisa klor bebas pada periode pengamatan yang lebih panjang, misalnya selama beberapa hari atau pada musim yang berbeda, sehingga variasi konsentrasi sisa klor bebas dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Selain itu, validasi model EPANET dapat ditingkatkan dengan menggunakan data hidraulik dan kualitas air yang lebih lengkap agar hasil simulasi semakin mendekati kondisi lapangan.
2. Perlu dilakukan pengkajian pengaruh faktor-faktor lain yang memengaruhi penurunan sisa klor bebas, seperti umur air (*water age*), suhu air, kandungan bahan organik, serta pola pemakaian air pelanggan. Analisis tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai faktor dominan yang memengaruhi perubahan konsentrasi sisa klor pada jaringan distribusi.
3. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas parameter kualitas air yang dianalisis, tidak hanya terbatas pada sisa klor bebas dan total coliform, tetapi juga mencakup parameter mikrobiologi lainnya, seperti *Escherichia coli*, maupun parameter kimia yang berkaitan dengan proses desinfeksi, seperti *trihalomethana* (THMs) atau produk samping desinfeksi (*disinfection by-products*). Dengan demikian, evaluasi efektivitas sistem desinfeksi dapat dilakukan secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, & Prasetyo. (2020). *Modeling Hidrolika dan Kualitas Air Menggunakan Software EPANET pada Distribusi Air Bersih*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- Aftiatnita, N. (2016). *Pembentukan Trihalomethane (THM) pada Proses Klorinasi*. Jurnal Teknik Lingkungan, 5(2), 45–53.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2007). *Pedoman Teknis Kebutuhan Air Minum Perkotaan*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- F. Mutia. (2022). *Pemantauan Kualitas Air Minum Rumah Tangga dan Risiko Mikrobiologi*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Indonesia.
- Hidayat, & Nur Fadhillah. (2021). *Analisis Hubungan Jarak Distribusi dengan Sisa Klor di Jaringan PDAM Tirta Sembada Sleman*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Kementerian Kesehatan RI. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Masduqi, A. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air* (Edisi Kedua). Surabaya: ITS Press.
- Pangestu, M. P., Setiawan, R., & Yuliani, S. (2023). *Kualitas Air Minum Rumah Tangga di Indonesia Berdasarkan Parameter Fisik, Kimia, dan Mikrobiologi: Studi Cross-Sectional Mengacu pada Standar Nasional*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Nasional, 22(2), 115–127.
- Rahmawati. (2023). *Kajian Kualitas Air Minum pada Sistem Distribusi Kampus UII Terpadu*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

- Rohmawati, Y., & Kustomo, A. (2024). Analisis kualitas air pada reservoir PDAM Kota Semarang menggunakan uji parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi serta analisis kemometri. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1), 33–42.
- SNI 6989.11:2004. (2004). *Air dan Air Limbah – Cara Uji pH dengan Alat pH Meter*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 6989.27:2019. (2019). *Air dan Air Limbah – Cara Uji Total Padatan Terlarut (Total Dissolved Solids/TDS) Secara Gravimetri*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 6989.57:2008. (2008). *Air dan Air Limbah – Cara Pengambilan Contoh Air*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 6989.59:2008. (2008). *Air dan Air Limbah – Cara Uji Sisa Klor dengan Metode DPD (N,N-Diethyl-p-phenylenediamine)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.
- WHO. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda). World Health Organization.
- Zahra Pramesti. (2022). *Evaluasi Efektivitas Sistem Klorinasi pada IPA PDAM Sleman Kabupaten Sleman*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Damayanti. (2020). *Evaluasi Sistem Disinfeksi pada PDAM Sleman Unit Nogotirto*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Ardennita Marsha. (2020). *Evaluasi Sistem Disinfeksi pada PDAM Sleman Unit Tridadi*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Azhar, M. (2012). *Disinfeksi dan Sanitasi pada Pengolahan Air Minum*. Jakarta: Rineka Cipta.

- Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (BPPSPAM).
(2014). *Pedoman Teknis Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta:
Kementerian Pekerjaan Umum.
- Hassan, F., & Masduqi, A. (2014). Analisis Penurunan Sisa Klor pada Jaringan
Distribusi Air Minum. *Jurnal Teknik ITS*, 3(2), 45–50.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
(2016). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Nomor 18 Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air
Minum*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
(2023). *Petunjuk Teknis Pembubuhan Kaporit pada Instalasi Pengolahan
Air Minum*. Jakarta: Kementerian PUPR.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengamatan Keseluruhan Klorin

27 April 2026

No	lokasi	conc		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	0.397	0.23	0.3135
2	Terdekat	0.23	0.146	0.188
3	Tengah	0.23	0.174	0.202
4	Terjauh	0.146	0.221	0.1835

28 April 2026

No	lokasi	conc		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.113	1.127	1.12
2	Terdekat	1.117	1.141	1.129
3	Tengah	1.145	1.136	1.1405
4	Terjauh	1.117	1.127	1.122

29 April 2026

No	lokasi	conc		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.196	1.145	1.1705
2	Terdekat	1.15	1.113	1.1315
3	Tengah	1.155	1.196	1.1755
4	Terjauh	1.182	1.117	1.1495

30 April 2026

No	lokasi	conc		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	0.193	0.146	0.170
2	Terdekat	0.202	0.174	0.188
3	Tengah	0.169	0.063	0.116
4	Terjauh	0.174	0.197	0.186

Lampiran 2 Data Keseluruhan Tekanan (kg/cm²)

27 April 2026

No	lokasi	rata-rata waktu		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.2	1.2	1.2
2	Terdekat	0.8	1.6	1.2
3	Tengah	0.8	1	0.9
4	Terjauh	1.6	1.9	1.75

28 April 2026

No	lokasi	rata-rata waktu		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.2	1	1.1
2	Terdekat	1	1.4	1.2
3	Tengah	0.8	1.2	1
4	Terjauh	1.9	1.4	1.65

29 April 2026

No	lokasi	rata-rata waktu		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.2	1.2	1.2
2	Terdekat	0.8	1.4	1.1
3	Tengah	1	1	1
4	Terjauh	1.6	2	1.8

30 April 2026

No	lokasi	rata-rata waktu		rata-rata keseluruhan
		pagi	sore	
1	Minomartani	1.1	1	1.05
2	Terdekat	1	1.4	1.2
3	Tengah	0.8	1.4	1.1
4	Terjauh	1.8	1.8	1.8

Lampiran 3 Data Tekanan PERUMDA

**PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM
KABUPATEN
SLEMAN
DATA TEKanan AIR
APRIL TAHUN 2026**

No.	Unit	Tekanan Rata- rata	Jumlah SR dengan Tekanan $\geq 0,7$ kg/cm ³	Jumlah SR dengan Tekanan $< 0,7$ kg/cm ³	Σ SR Aktif	Keterangan
1	Mlati	1	764	145	909	
2	Tambakrejo	1	2276	132	2,408	
3	Gamping	0.8	3477	173	3,650	
4	Sidomoyo	0.7	1618	145	1,763	
5	Nogotirto	0.7	1523	83	1,606	
6	Godean	1	4260	130	4,390	
7	Depok	1.5	3907	200	4,107	
8	Ngaglik	1.7	1926	53	1,979	
9	Minomartani	1	2086	100	2,186	
10	Pakem/Turi	1.3	920	128	1,048	
11	Tridadi	0.7	1101	158	1,259	
12	Sleman BNA	0.7	6486	245	6,731	
13	Condong Catur	1.4	1904	103	2,007	
14	Kalasan	2	3099	68	3,167	
15	Prambanan	0.7	2392	231	2,623	
16	Ngemplak	0.7	3468	155	3,623	
17	Bimomartani	1.2	590	78	668	
Total			41797	2327	44124	
Prosentase			95%	5%		

Mengetahui
Ka. Seksi Trandist

Di teliti oleh
Ka. Sub. Si
Pengendalian
Kehilangan Air

Di Buat Oleh
Staff Trandist

Hari Susanto, S. T.

Nurselan

M. Isa Ilyasa

Lampiran 4 Perhitungann Koefisien Laju Klorin

$$Inc_e = Inc_0 - \left(\frac{k}{v}\right) L$$

Keterangan:

Ce = Konsentrasi sisa klorin pada jarak tertentu (mg/l)

Co = Konsentrasi sisa klorin pada t=0 (mg/l)

K = Konstanta penurunan

V = Kecepatan (m/s)

L = Jarak aliran (m)

Koefisien Penurunan				K rata-rata
Titik	Terdekat	Tengah	Terjauh	4.70343
Ce	2.03	2.09	2.04	
Co	2.33	2.03	2.09	
L	19.2	424	754	
V	0.76	0.76	0.76	
K	1.937770833	2.08636132	2.037893369	

$$\begin{aligned}
 K \text{ Terdekat} &= \frac{Ince - Inc0}{LV} \\
 &= \frac{2,03 - 2,33}{19,2 \times 0,76} \\
 &= 1.937770833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ Tengah} &= \frac{Ince - Inc0}{LV} \\
 &= \frac{2,09 - 2,03}{424 \times 0,76} \\
 &= 2.08636132
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ Terjauh} &= \frac{Ince - Inc0}{LV} \\
 &= \frac{2,04 - 2,09}{754 \times 0,76} \\
 &= 2.037893369
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ rata - rata} &= \frac{K \text{ Terdekat} + K \text{ Tengah} + K \text{ Terjauh}}{3} \\
 &= \frac{(1.937770833) + (2.08636132) + (2.037893369)}{3} \\
 &= 4.70343
 \end{aligned}$$

Lampiran 5 Kehilangan Tekanan dan Total Head

Untuk menghitung kehilangan tekanan (*head loss*) pada jaringan distribusi, maka rumusnya adalah selisih tekanan antara dua titik seperti persamaan (4). Untuk menghitung total head (m) elevasi ditambah dengan head tekanan.

$$H_p = \frac{P}{\gamma}$$

Keterangan:

H_p = head tekanan (m)

P = tekanan (Pa atau N/m²)

γ = berat jenis air ($\rho g = 9810 \text{ N/m}^3$)

1 bar = 100.000 Pa

$$H_p = \frac{100.000}{1000 \times 9,81}$$

$$H_p = 10,197 \text{ m}$$

Tabel 4. 8 Total Head dan Head Tekanan

Titik	Tekanan (bar)	Head Tekanan (m)	Total Head (m)
T1	1.138	11.6	175.3
T2	1.175	11.9	189.99
T3	1.000	10.2	191.1
T4	1.750	17.85	199.25

Total Head:

$$h_f = H1 - H2$$

Keterangan:

h_f = kehilangan tekanan

$H1$ = tekanan di titik awal

$H2$ = tekanan di titik berikutnya

$Terdekat = 175,30 - 189,99 = -14,69 \text{ m}$

$Tengah = 189,99 - 191,10 = -1,11 \text{ m}$

$Terjauh = 191,10 - 199,25 = -8,15 \text{ m}$

Lampiran 6 Data PERUMDA Kualitas Air Baku

Data Kualitas Air

PEMERINTAH KABUPATEN SLEMAN
DINAS KESEHATAN
UPTD LABORATORIUM KESEHATAN

Jalan Kalimantan Gang Ambalat, Purwosari, Sinduadi, Matl, Sleman, Yogyakarta, 55284
Telepon (0274) 884226, Surel: labkessleman@gmail.com

LAFKI
TERAKREDITASI PARIPURNA

FRM.LHU.02/03.01.2022/Rev.01

Kepada:
PDAM Tirta Sembada
Jl. Parasamya No.18, Beran, Tridadi, Sleman

LAPORAN HASIL UJI

IDENTITAS SAMPEL
No. Contoh Uji/No. Plg : KIM/2774/14486-PDAM-I
Contoh Uji : Air Minum
Berasal dari : Outlet Reservoir Minomartani
Alamat Contoh Uji : Mlandangan, Minomartani, Ngaglik, Sleman
Diambil Oleh : Wahyu Prasetyo (Petugas PDAM Sleman)
Instansi Pengambil : PDAM Tirta Sembada
Tgl. Sampling : 09-04-2026
Tgl. Diterima : 09-04-2026
Tgl. Pengujian : 09-04-2026 s/d 22-04-2026

HASIL PENGUJIAN

NO	PARAMETER	SATUAN	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	HASIL UJI LAB	METODE UJI
1	Suhu	°C	Suhu udara ± 3	Suhu udara : 21.0 Suhu CTU : 22.0	SNI 06-6989.23-2005
2	Total Dissolve Solid	mg/L	< 300	167.0	Elektrikal Conductivity
3	Kekeruhan	NTU	< 3	0.09	SNI 06-6989.25-2005
4	Warna	Skala Ptco	10	0	SNI 6989.80:2011
5	Bau	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Organoleptis
6	Sisa Khlor (terlarut)	mg/L	0.2 - 0.5	0.86	CI2-Kit 1.00598.0002

Catatan :

1. Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh uji yang diuji
2. Semua parameter diuji di laboratorium
3. Laporan Hasil Uji ini terdiri dari 1 (satu) lembar
4. Dilarang menggandakan sebagian atau seluruh isi Laporan Hasil Uji ini tanpa persetujuan tertulis UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
5. UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman hanya melayani komplain atau revisi Laporan Hasil Uji ini maksimal 7 (tujuh) hari setelah Laporan Hasil Uji ini diterbitkan
6. UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman tidak bertanggung jawab terhadap proses pengambilan dan pengantaran contoh uji yang dilakukan oleh petugas selain dari UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
7. Baku Mutu : Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan PP No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan

An. Kepala UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
Kepala Subbagian Tata Usaha
(Karni S.K.M.)
Penda Tingkat I, III/d
NIP. 196804101990122001

Lampiran 7 Data Total Coliform PERUMDA



PEMERINTAH KABUPATEN SLEMAN
DINAS KESEHATAN
UPTD LABORATORIUM KESEHATAN



Jalan Kalimantan Gang Ambalat, Purwosari, Sinduadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta, 55284
Telepon (0274) 884226, Surel: labkessleman@gmail.com

FRM.LHU.02/03.01.2022/Rev.01

Kepada:
PDAM Tirta Sembada
Jl. Parasamya No.18, Beran, Tridadi, Sleman

LAPORAN HASIL UJI

IDENTITAS SAMPEL

No. Contoh Uji/No. Plg : MIK/2773/14486-PDAM-I
Contoh Uji : Air Minum
Berasal dari : Outlet Reservoir Minomartani
Alamat Contoh Uji : Mlandangan, Minomartani, Ngaglik, Sleman
Diambil Oleh : Wahyu Prasetyo (Petugas PDAM Sleman)
Instansi Pengambil : PDAM Tirta Sembada
Tgl. Sampling : 09-04-2026
Tgl. Diterima : 09-04-2026
Tgl. Pengujian : 09-04-2026 s/d 22-04-2026

HASIL PENGUJIAN

NO	PARAMETER	SATUAN	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	HASIL UJI LAB	METODE UJI
1	Escherichia coli	CFU/100ml	0	0	ISO 9308-1:2014/ Amd-1:2016
2	Total Coliform	CFU/100ml	0	0	ISO 9308-1:2014/ Amd-1:2016

Catatan :

1. Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh uji yang diuji
2. Semua parameter diuji di laboratorium
3. Laporan Hasil Uji ini terdiri dari 1 (satu) lembar
4. Dilarang menggandakan sebagian atau seluruh isi Laporan Hasil Uji ini tanpa persetujuan tertulis UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
5. UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman hanya melayani komplain atau revisi Laporan Hasil Uji ini maksimal 7 (tujuh) hari setelah Laporan Hasil Uji ini diterbitkan
6. UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman tidak bertanggung jawab terhadap proses pengambilan dan pengantaran contoh uji yang dilakukan oleh petugas selain dari UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
7. Baku Mutu : Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan PP No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan

An. Kepala UPTD Laboratorium Kesehatan Sleman
Kepala Subbagian Tata Usaha

(Karni, S.K.M.)
Penata Tingkat I, III/d
NIP. 196804101990122001

Lampiran 8 PERMENKES No.2 Tahun 2023

- 33 -

LAMPIRAN
PERATURAN MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 2 TAHUN 2023
TENTANG
PERATURAN PELAKSANAAN PERATURAN PEMERINTAH
NOMOR 66 TAHUN 2014 TENTANG KESEHATAN LINGKUNGAN

BAKU MUTU KESEHATAN MEDIA AIR UNTUK KEPERLUAN HIGIENE SANITASI,
KOLAM RENANG, SOLUS PER AQUAM, DAN PEMANDIAN UMUM

A. Parameter Wajib

1. Parameter Mikrobiologi

No.	Jenis Parameter	Baku Mutu				
		Air Minum	Media Hygiene Sanitasi	Kolam Renang	Solus Per Aquam	Pemandian Umum
1.	<i>Escherichia coli</i>	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL
2.	Total Bakteri Coliform	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL	0/100 mL

2. Parameter Fisika

No.	Jenis Parameter	Baku Mutu				
		Air Minum	Media Hygiene Sanitasi	Kolam Renang	Solus Per Aquam	Pemandian Umum
1.	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
2.	Warna	< 15 TCU	< 15 TCU	< 50 TCU	< 25 TCU	< 50 TCU
3.	Kekeruhan	< 3 NTU	< 25 NTU	< 5 NTU	< 5 NTU	< 5 NTU
4.	Rasa	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa
5.	Suhu	Suhu udara ± 3 °C	Suhu udara ± 3 °C	28 – 30 °C	32 – 36 °C	Suhu udara ± 3 °C

3. Parameter Kimia

No.	Jenis Parameter	Baku Mutu				
		Air Minum	Media Hygiene Sanitasi	Kolam Renang	Solus Per Aquam	Pemandian Umum
1.	pH	6,5 – 8,5	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,0 – 9,0
2.	Aluminium (Al)	0,2 mg/L	-	-	-	-
3.	Besi (Fe)	0,2 mg/L	-	-	-	-
4.	Mangan (Mn)	0,1 mg/L	-	-	-	-
5.	Nitrat (sebagai NO ₃)	10 mg/L	-	-	-	-
6.	Sisa Klor	0,2 – 0,5 mg/L	-	1 – 3 mg/L	1 – 3 mg/L	0,5 – 1 mg/L

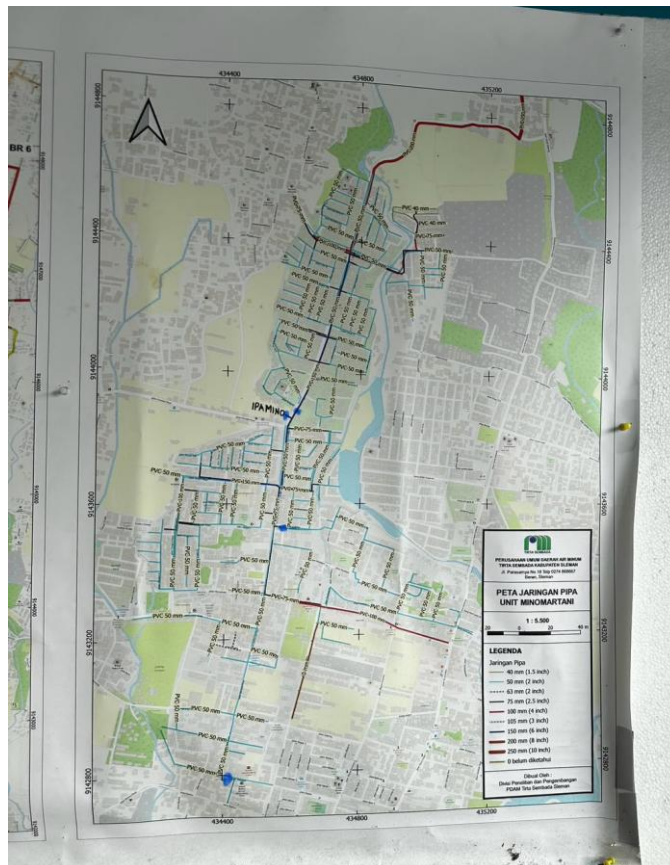
Keterangan:

TCU : True Color Unit

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

4. Parameter ...

Lampiran 9 Peta Distribusi



Lampiran 10 APHA 9221-B

9-50

MICROBIOLOGICAL EXAMINATION (9000)

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	95% Confidence Limits		Combination of Positives	MPN Index/ 100 mL	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper			Lower	Upper
0-0-0	≤ 2	—	—	4-2-0	22	9.0	56
0-0-1	2	1.0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1.0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1.0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
1-0-0	2	1.0	11	5-0-0	23	9.0	56
1-0-1	4	1.0	13	5-0-1	30	10	110
1-1-0	4	1.0	13	5-0-2	40	20	140
1-1-1	6	2.0	18	5-1-0	30	10	120
1-2-0	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
				5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1.0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	7	2.0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2.0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-0	80	30	250
2-2-0	9	3.0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5.0	29	5-3-2	140	60	360
3-0-0	8	3.0	24	5-3-3	170	80	410
3-0-1	11	4.0	29	5-4-0	130	50	390
3-1-0	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6.0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7.0	40	5-4-4	350	160	820
				5-5-0	240	100	940
4-0-0	13	5.0	38	5-5-1	300	100	1300
4-0-1	17	7.0	45	5-5-2	500	200	2000
4-1-0	17	7.0	46	5-5-3	900	300	2900
4-1-1	21	9.0	55	5-5-4	1600	600	5300
4-1-2	26	12	63	5-5-5	≥ 1600	—	—

Lampiran 11 PUPR No. 28 Tahun 2023



PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR 28/PRT/M/2023

- 73 -

BAB V INSTALASI PENGOLAHAN AIR

5.4. Unit Disinfeksi

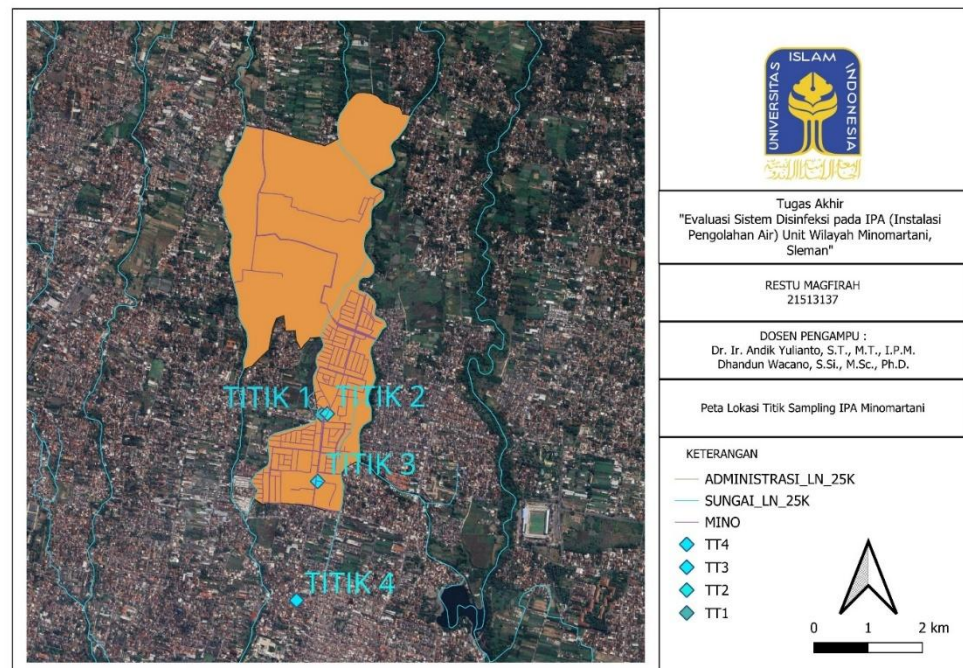
- 5.4.1. Unit disinfeksi berfungsi untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam air minum.
- 5.4.2. Disinfeksi pada proses pengolahan air minum dapat dilakukan dengan menggunakan klorin, ozon, sinar ultraviolet, atau kombinasi beberapa jenis disinfeksi.
- 5.4.3. Apabila digunakan klorin sebagai disinfeksi, maka harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - a. kadar sisa klorin bebas (*free residual chlorine*) pada air minum yang dihasilkan antara 0,2 mg/L sampai dengan 0,5 mg/L;
 - b. sistem kontak antara air dengan klorin harus mampu memberikan waktu kontak (waktu detensi) minimum 30 (tiga puluh) menit; dan
 - c. penambahan klorin dilakukan pada pH air kurang dari 8.

Tabel 5.11 Waktu Detensi Unit Disinfeksi Klorin

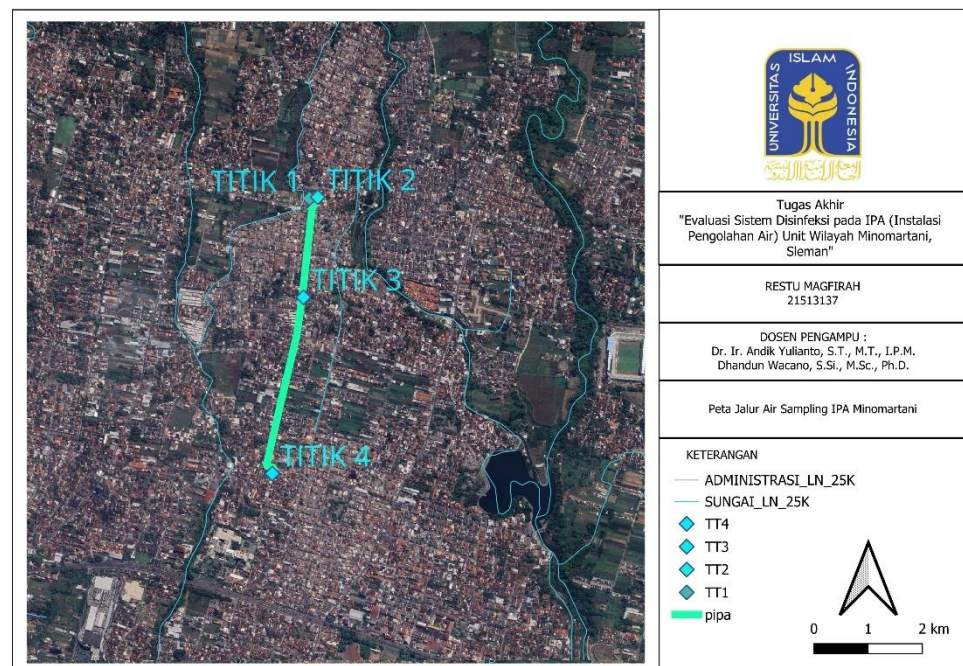
No.	Jenis Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)	Waktu Detensi (menit)
1.	SPAM Jaringan Perpipaan	≥ 30
2.	SPAM Bukan Jaringan Perpipaan (SPAM Bukan JP)	≥ 30
3.	SPAM Dalam Bentuk Air Minum Dalam Kemasan	≥ 30

Catatan: Waktu detensi dihitung mulai dari penambahan bahan kimia disinfeksi sampai dengan air siap didistribusikan.

Lampiran 12 Peta Daerah Pengamatan



Lampiran 13 Peta Jaluir Air



Lampiran 14 Dokumentasi



Pengukuran Tekanan Air



Pengambilan Sample Air Uji Klor



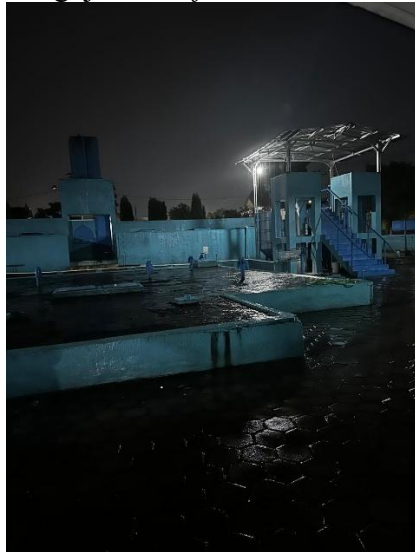
Pengambilan Sample Uji *Coliform*



Pengujian *Coliform*



Pengujian *Coliform* di Lab

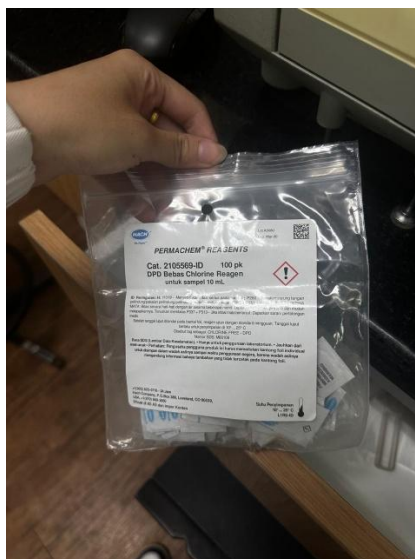


IPA Minomartani

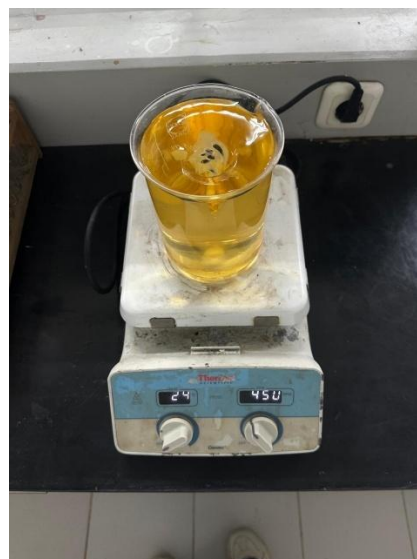
Pemasukan Sample kedalam Media



Jenis Klorin yang Digunakan



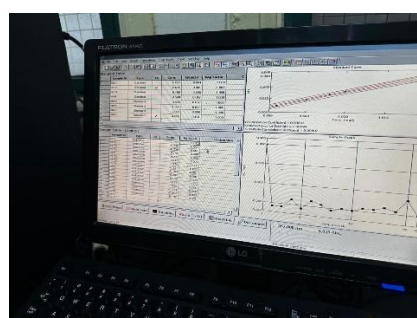
Reagen Untuk Uji Klorin



Pembuatan Media Uji *Coliform*



Alat Spektrofotometer Uji Klorin



Data Hasil Uji Spektrofotometer

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Restu Magfirah, lahir di Lahat, Sumatera Selatan, pada 20 Oktober 2003. Penulis merupakan anak kedua dari tiga saudara dari pasangan Bapak Hery Haryono dan Ibu Musaadatul Uhro. Riwayat pendidikan formal penulis adalah TK Setia Utama (2007-2009), SD Negeri 1 Pangkalpinang (2009-2015), SMP Negeri 1 Pangkalpinang (2015-2018), SMA Negeri 1 Pangkalpinang (2018-2021), dan Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Lingkungan, (2021-sekarang).

Aktif mengikuti kepanitiaan Latihan Dasar Kepemimpinan (LDK), dan mengikuti acara kepanitiaan lainnya di kampus Teknik Lingkungan.