

TUGAS AKHIR - CL234801

STUDI KANDUNGAN SISA KLOOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM ZONA 2 PERUMDAM TIRTA SIAK

SABELA WIDYA PUTRI

NRP. 5014211021

Dosen Pembimbing

Alfan Purnomo, S.T., M.T.

NIP. 19830304 200604 1 002

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - CL234801

**STUDI KANDUNGAN SISA KLOOR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI AIR MINUM ZONA 2 PERUMDAM TIRTA SIAK**

SABELA WIDYA PUTRI

NRP. 5014211021

Dosen Pembimbing

Alfan Purnomo, S.T., M.T.

NIP. 19830304 200604 1 002

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINAL PROJECT - CL234801

**STUDY OF RESIDUAL CHLORINE IN THE DRINKING
WATER DISTRIBUTION NETWORK OF ZONE 2,
PERUMDAM TIRTA SIAK**

SABELA WIDYA PUTRI

NRP. 5014211021

Advisor

Alfan Purnomo, S.T., M.T.

NIP. 19830304 200604 1 002

Study Program Undergraduate

Department of Environmental Engineering

Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KANDUNGAN SISA KLOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM ZONA 2 PERUMDAM TIRTA SIAK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **SABELA WIDYA PUTRI**
NRP. 5014211021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Alfian Purnomo, S.T., M.T.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T.

Penguji

3. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Penguji

4. Achmad Muzakky, S.T., M.Sc.

Penguji



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP : Sabela Widya Putri / 5014211021
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Alfian Purnomo, S.T., M.T. / 19830304 200604 1 002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 21 Juli 2025

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Mahasiswa

Alfian Purnomo, S.T., M.T.
NIP. 19830304 200604 1 002

Sabela Widya Putri
NRP. 5014211021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI KANDUNGAN SISA KLOOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM ZONA 2 PERUMDAM TIRTA SIAK

Nama : Sabela Widya Putri
NRP : 5014211021
Dosen Pembimbing : Alfian Purnomo, S.T., M.T.

ABSTRAK

Air termasuk komponen penting dalam kehidupan sehari – hari untuk menunjang segala kebutuhan dan aktivitas manusia. Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) merupakan infrastruktur yang berfungsi mengolah air baku menjadi air yang aman untuk dikonsumsi. Perusahaan Umum Daerah Air Minum (Perumdram) yang melayani Kota Pekanbaru adalah Perumdram Tirta Siak. Salah satu IPAM yang terdapat di Kota Pekanbaru adalah IPAM Tirta Siak Tampan yang dikelola oleh PT. PPTM berperan sebagai Badan Usaha Pelaksana (BUP) pada Proyek KPBU SPAM Kota Pekanbaru. Berdasarkan data hasil uji air olahan pada tahun 2024, air hasil olahan IPAM tersebut telah memenuhi baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023. Namun, pemantauan ini hanya pada bagian reservoir dan belum merepresentasikan kualitas air dalam seluruh jaringan distribusi air minum. Sisa klor dalam air memiliki hubungan dengan kualitas air karena klorin berfungsi sebagai disinfektan untuk membunuh bakteri patogen dan virus yang dapat menyebabkan penyakit. Kandungan sisa klor yang tepat dalam air dapat menjaga kualitas air dan mencegah kontaminasi mikroba. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran sisa klor menggunakan *software* EPANET 2.2. dilakukan validasi model untuk meningkatkan akurasi dalam analisis. Selain itu, dilakukan penyesuaian sisa klor pada pelanggan sesuai ambang batas konsentrasi klor yang ditetapkan oleh Permenkes.

Penentuan jumlah lokasi sampling dilakukan berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Pengambilan sampel dan pengukuran dilakukan secara *on site* untuk mengetahui kandungan sisa klor pada jaringan distribusi air minum. Pengukuran sisa klor di lapangan menggunakan metode DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamin) dengan menggunakan *Chlorine Meter Portable*. Pengamatan penurunan sisa klor terhadap waktu dilakukan menggunakan sampel yang diambil pada *outlet* yang terdekat dengan reservoir sehingga mendapatkan nilai koefisien reaksi *bulk* (K_b) dan koefisien reaksi *wall* (K_w). Kemudian, hasil simulasi sisa klor dibandingkan dengan data lapangan dengan uji *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk melihat kesesuaian hasil simulasi *software* EPANET terhadap pengukuran. Kemudian, dilakukan analisis hidrolis menggunakan model pada EPANET untuk melakukan penyesuaian sisa klor di pelanggan. Selain itu, analisis penyebab turunnya sisa klor juga dilakukan untuk lebih memahami stabilitas sisa klor.

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klor dalam air yang diterima pelanggan pada sebagian besar wilayah layanan, khususnya pada daerah ujung jaringan dan daerah dengan konsumsi air rendah, belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya usia air, kecepatan alir yang rendah, dan sisa klor yang belum stabil. Stabilitas sisa klor dipengaruhi oleh zat pengotor dalam air khususnya zat organik (KMnO₄) dan ammonia. Upaya penyesuaian dilakukan melalui penambahan dosis klor di IPAM serta penempatan 13 titik re-klorinasi. Kedua strategi ini efektif dalam menjaga kandungan sisa klor pada jaringan distribusi.

Kata Kunci : EPANET 2.2, Kualitas Air, Sisa klor

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF RESIDUAL CHLORINE IN THE DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORK OF ZONE 2, PERUMDAM TIRTA SIAK

Name : Sabela Widya Putri
NRP : 5014211021
Supervisor : Alfian Purnomo, S.T., M.T.

ABSTRACT

Water is an essential component of daily life that supports various human needs and activities. Water Treatment Plant (WTP) serve as infrastructure to process raw water into consumable water. The Regional Public Drinking Water Company (Perumdam) that serves Pekanbaru City is Perumdam Tirta Siak. One of the WTPs in Pekanbaru City is Tirta Siak Tampan WTP, managed by PT. PPTM. Based on treated water testing data in 2024, the water processed by this WTP met the quality standards stipulated in the Ministry of Health Regulation No. 2 of 2023. However, this compliance was only observed at the reservoir and does not guarantee the quality of the drinking water distribution network. Residual chlorine in water is closely linked to water quality, as chlorine acts as a disinfectant to eliminate pathogenic bacteria and viruses that can cause disease. The appropriate residual chlorine level in water can maintain water quality and prevent microbial contamination. This study aims to analyze the distribution of residual chlorine using the EPANET 2.2 software, with model validation performed to enhance analysis accuracy. Moreover, adjustments to residual chlorine levels for customers were made in accordance with the chlorine concentration limits set by the Ministry of Health Regulation.

The determination of the number of sampling locations was carried out based on Ministry of Health Regulation No. 2 of 2023. Sampling and measurements were conducted on-site to determine the residual chlorine content in the drinking water distribution network. Residual chlorine testing in the field was performed using the DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamin) method with a Portable Chlorine Meter. Observation of residual chlorine decay over time was carried out at the *outlet* nearest to the reservoir to obtain the *bulk* reaction coefficient (K_b) and *wall* reaction coefficient (K_w). Furthermore, a comparison of the residual chlorine simulation results was made using the Root Mean Square Error (RMSE) test to identify the consistency between the EPANET software simulation results and the measurements. Subsequently, hydraulic analysis that use the model from EPANET was conducted to adjust residual chlorine levels for customers. In addition, an analysis of the factors contributing to chlorine decay was carried out to gain a better understanding of its stability within the distribution system.

Analytical results revealed that the residual chlorine concentrations in customer supplied water in most service areas, especially in areas that far from WTP and areas that have lower water consumption, did not meet required quality standards. This condition is primarily caused by high water age, low velocity, and unstable chlorine residual. The stability of chlorine residual is influenced by impurities in water, particularly organik matter that represented by permanganate and ammonia. As a response to this issue, corrective actions were taken by increasing chlorine dosing at WTP and placing 13 re-chlorination points. The combined strategies are effective in maintaining chlorine residual levels throughout the distribution network.

Keywords: EPANET 2.2, Residual Chlorine, Water Quality

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT. atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak” ini tepat pada waktunya. Selama penyusunan laporan tugas akhir ini, penyusun banyak mendapatkan bimbingan dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T. yang telah memberikan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng yang telah memberikan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Achmad Muzakky, S.T., M.Sc., M.Eng yang telah memberikan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Perumdam Tirta Siak selaku pihak yang telah memberikan informasi yang dibutuhkan serta membantu dalam pemenuhan data yang diperlukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang telah memberikan informasi yang dibutuhkan serta membantu dalam pemenuhan data yang diperlukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
7. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingan sejak awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.
8. Seluruh dosen di Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama perkuliahan.
9. Ayah, ibu, adik, yang selalu membantu baik secara langsung ataupun dalam doa.
10. Teman-teman angkatan 2021 yang selalu membantu, baik secara langsung ataupun dalam doa.

Penyusunan tugas akhir ini telah dilakukan semaksimal mungkin, namun penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penyusun menerima kritik serta masukan yang bersifat membangun. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat, khususnya bagi mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Surabaya, 21 Juli 2025

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Gambaran Umum Wilayah.....	5
2.1.1. Wilayah Administrasi.....	5
2.1.2. Kondisi Geografis.....	5
2.1.3. Topografi	6
2.1.4. Hidrologi.....	6
2.2. Sistem Distribusi Air Minum Kota Pekanbaru.....	6
2.3. Air Minum	8
2.4. Kebutuhan Air Minum.....	9
2.5. Sistem Penyediaan Air Minum Jaringan Perpipaan	10
2.6. Pola Jaringan Sistem Distribusi Air Minum.....	10
2.7. Desinfeksi	12
2.8. Klorin.....	12
2.9. Breakpoint Chlorination (BPC).....	13
2.10. Uji Statistik Root Mean Square Error (RMSE).....	14
2.11. Uji Normalitas	14
2.12. Analisis Korelasi.....	14
2.13. Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Deskripsi Umum.....	17
3.2. Kerangka Penelitian.....	17

3.3.	Tahap Penelitian	19
3.3.1.	Ide Penelitian	19
3.3.2.	Studi Literatur	20
3.3.3.	Uji Pendahuluan	20
3.3.4.	Persiapan Penelitian.....	21
3.3.5.	Pengumpulan Data.....	24
3.3.6.	Analisis dan Pembahasan	27
3.3.7.	Kesimpulan dan Saran	29
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1.	Desinfeksi IPAM Tirta Siak Tampan	31
4.1.1.	Hubungan Dosis dan Sisa Klor.....	31
4.1.2.	Efektivitas Pembubuhan Klor.....	37
4.2.	Pemantauan Kualitas Air Pelanggan	41
4.2.1.	Distribusi Pelanggan.....	41
4.2.2.	Wilayah Analisis dan Kondisi Tekanan	42
4.2.3.	Sisa Klor, Suhu, dan pH	44
4.2.4.	Simulasi Hidrolis	47
4.3.	Analisis Korelasi.....	58
4.3.1.	Uji Normalitas	58
4.3.2.	Analisis Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor pada Pelanggan.....	59
4.3.3.	Analisis Hubungan pH Terhadap Sisa Klor pada Pelanggan	60
4.3.4.	Analisis Hubungan Jarak terhadap Sisa Klor	61
4.4.	Penyesuaian Sisa Klor	62
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	69
	DAFTAR PUSTAKA.....	71
	LAMPIRAN A	73
	LAMPIRAN B.....	80
	LAMPIRAN C.....	81
	BIODATA PENULIS.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Zona Pelayanan Perumdam Tirta Siak.....	6
Gambar 2.2 Peta Pembagian DMA Wilayah Zona 2.....	7
Gambar 2.3 Jaringan Eksisting Wilayah Pelayanan Zona 2.....	8
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Melingkar	11
Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Sistem Cabang.....	11
Gambar 2.6 Grafik BPC	13
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Sisa Klor.....	21
Gambar 3.3 Hasil Pengukuran Sisa Klor Alat <i>Portable</i>	21
Gambar 3.4 Pembagian Kluster Lokasi Pengambilan Sampel	23
Gambar 3.5 Bentuk Kran pada Lokasi Pengambilan Sampel	24
Gambar 3.6 Diagram Alir Analisis dan Pembahasan	27
Gambar 4.1 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Januari 2024	32
Gambar 4.2 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Februari 2024	32
Gambar 4.3 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Maret 2024	32
Gambar 4.4 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor April 2024	32
Gambar 4.5 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Mei 2024	33
Gambar 4.6 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Juni 2024.....	33
Gambar 4.7 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Juli 2024.....	33
Gambar 4.8 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Agustus 2024.....	33
Gambar 4.9 Grafik Analisis Pembubuhan Klor.....	35
Gambar 4.10 Hasil Simulasi Penentuan Dosis Klor.....	36
Gambar 4.11 Pemetaan DMA dengan pelanggan Aktif.....	43
Gambar 4.12 Dokumentasi Survei Pelanggan.....	44
Gambar 4.13 Dokumentasi Kran pelanggan.....	44
Gambar 4.14 Titik Pengukuran Sisa Klor	45
Gambar 4.15 Persentase <i>Bulk Reaction</i> dan <i>Wall Reaction</i>	50
Gambar 4.16 Titik Validasi Sisa Klor	51
Gambar 4.17 Perbandingan Data Simulasi dan Observasi Sisa Klor	52
Gambar 4.18 Simulasi Sebaran Sisa Klor pada EPANET 2.2.....	53
Gambar 4.19 Grafik <i>frequency plot</i> Sisa Klor	54
Gambar 4.20 Peta Kontur Sebaran Sisa Klor	54
Gambar 4.21 Simulasi Kecepatan EPANET 2.2	55
Gambar 4.22 Simulasi Tekanan EPANET 2.2	56
Gambar 4.23 Titik Validasi Tekanan	56
Gambar 4.24 Perbandingan Data Simulasi dan Observasi Tekanan	57
Gambar 4.25 Simulasi <i>Water Age</i> EPANET 2.2	57
Gambar 4.26 Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor	59
Gambar 4.27 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Primer	60
Gambar 4.28 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Sekunder	60
Gambar 4.29 Hubungan Jarak Terhadap Sisa Klor	61
Gambar 4.30 Rencana Titik Re-klorinasi	63
Gambar 4.31 Hasil Simulasi pada Jam 24	63
Gambar 4.32 Peta Kontur Sisa Klor pada Jam 24	64
Gambar 4.33 Hasil Simulasi pada Jam 72	64
Gambar 4.34 Peta Kontur Sisa Klor pada Jam 72	65
Gambar 4.35 Segmen Jaringan dengan <i>Velocity</i> Rendah	65

Gambar 4.36 Lokasi Re-klorinasi <i>Node</i> 9 dan 124	66
Gambar 4.37 Lokasi Titik Re-klorinasi	67
Gambar 4.38 Area Pelayanan Re-klorinasi	67
Gambar 4.39 Skematik Proses Desinfeksi.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Luas Wilayah Kecamatan.....	5
Tabel 2.2 Jumlah Pelanggan tiap DMA.....	7
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3.1 Jumlah dan Frekuensi Sampling.....	22
Tabel 3.2 Jumlah Pelanggan.....	23
Tabel 3.3 Data Sekunder	25
Tabel 4.1 Rekapitulasi Hubungan Pembubuhan klor dan Sisa Klor	34
Tabel 4.2 Rekapitulasi Dosis Post Klorinasi	34
Tabel 4.3 Analisis Musim dengan Pembubuhan Klor.....	35
Tabel 4.4 Kualitas Air Minum pada Reservoir.....	37
Tabel 4.5 Rencana Tahapan JDB dan JDL.....	41
Tabel 4.6 Kebutuhan Air pada Zona 2	42
Tabel 4.7 Data Tekanan Eksisting	43
Tabel 4.8 Hasil Sampling Sisa Klor	45
Tabel 4.9 Data Sekunder Sampling Sisa Klor	46
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Suhu dan pH.....	46
Tabel 4.11 Data Sekunder Pengukuran Suhu dan pH	47
Tabel 4.12 Perhitungan Reaksi <i>Bulk</i>	48
Tabel 4.13 Perbandingan Kualitas Air IPAM	49
Tabel 4.14 Penentuan Koefisien <i>Wall</i> dengan Data Primer	50
Tabel 4.15 Penentuan Koefisien <i>Wall</i> dengan Data Sekunder	51
Tabel 4.16 Hasil Validasi Model EPANET 2.2 dengan Data Primer.....	52
Tabel 4.17 Hasil Kalibrasi Model EPANET 2.2 dengan Data Sekunder	53
Tabel 4.18 Uji Normalitas Data Primer	58
Tabel 4.19 Uji Normalitas Data Sekunder.....	58
Tabel 4.20 Metode Analisis Data Primer	59
Tabel 4.21 Metode Analisis Data Sekunder	59
Tabel 4.22 Analisis Korelasi Suhu Terhadap Sisa Klor	59
Tabel 4.23 Analisis Korelasi pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Primer	60
Tabel 4.24 Analisis Korelasi pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Sekunder	60
Tabel 4.25 Analisis Korelasi Jarak Terhadap Sisa Klor	61
Tabel 4.26 <i>Node</i> Re-klorinasi.....	66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air termasuk dalam komponen penting dalam kehidupan untuk mendukung segala kebutuhan serta aktivitas manusia. Air di muka bumi terdiri dari air tanah dan air limpasan permukaan seperti sungai, waduk, danau, laut, dan sebagainya. Namun, dari banyaknya air yang tersedia di bumi, tidak semua air dapat disebut air minum. Dalam menunjang kebutuhan manusia, penyediaan air minum di setiap daerah harus sesuai dengan kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan berdasarkan syarat yang telah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Kota Pekanbaru adalah ibukota dari Provinsi Riau yang berperan sebagai pusat pemerintahan. Sumber air baku Kota Pekanbaru berasal dari Sungai Siak dan Sungai Kampar yang merupakan dua sungai utama di Provinsi Riau. Meskipun memiliki sumber daya air yang melimpah dari dua sungai, pengelolaan air minum di kota ini menghadapi berbagai masalah, seperti kualitas air baku yang terpengaruh oleh pencemaran dan keterbatasan infrastruktur. Oleh karena itu, pengelolaan air minum menjadi salah satu fokus penting dalam mendukung kualitas hidup masyarakat sekaligus mendukung aktivitas ekonomi di Kota Pekanbaru.

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (Perumdam) adalah perusahaan yang berperan dalam memastikan pemenuhan hak rakyat atas air yang layak dikonsumsi. Pada Kota Pekanbaru terdapat Perumdam Tirta Siak yang sudah beroperasi dari tahun 1974 dan bertanggung jawab atas ketersediaan air bersih yang layak konsumsi, baik bagi kebutuhan rumah tangga, komersial, maupun industri di Kota Pekanbaru. Dengan perkembangan Kota Pekanbaru yang cukup cepat, Perumdam Tirta Siak menghadapi tantangan yang semakin kompleks dalam menjaga pemenuhan kebutuhan air minum. Dalam menjawab permasalahan tersebut, perusahaan ini terus berupaya meningkatkan kapasitas pelayanan, mengembangkan infrastruktur, serta terus mengevaluasi pengolahan serta distribusi air. Selain itu, Perumdam Tirta Siak juga menjalin kolaborasi dengan berbagai pihak, termasuk pemerintah daerah dan masyarakat, guna mewujudkan pengelolaan air yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Dalam upaya meningkatkan layanan, pemerintah Kota Pekanbaru membentuk perjanjian Kerja sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU). Pemenang tender pada proyek ini adalah PT. PP Infrastruktur selaku *stakeholder* pertama yang memiliki porsi saham 85% yang selanjutnya bersama PT. Memiontec Indonesia yang memiliki porsi saham 15% mendirikan anak usaha yaitu PT. Pembangunan Perumahan Tirta Madani (PT. PPTM) yang berdiri pada 14 Desember 2020. PT. PPTM berperan sebagai Badan Usaha Pelaksana (BUP) pada Proyek KPBU SPAM Kota Pekanbaru dengan masa kerja sama selama 25 Tahun hingga September 2047. Dalam kerja sama tersebut, PT. PPTM bertanggung jawab atas kualitas air olahan.

Instalasi pengolahan air minum (IPAM) adalah infrastruktur yang berfungsi mengolah air baku menjadi air yang dapat dikonsumsi. Salah satu IPAM yang terdapat di Kota Pekanbaru adalah IPA Tirta Siak Tampan yang dikelola oleh PT. PPTM. IPAM ini memiliki 2 instalasi pengolahan air yang menggunakan beberapa tahapan yaitu intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir. Berdasarkan data hasil uji air olahan pada tahun 2024 yang dapat dilihat pada Lampiran A, parameter-parameter air olahan IPAM telah sesuai dengan yang ditetapkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Namun, hal ini hanya diketahui pada bagian reservoirnya saja, hasil tersebut belum dapat memastikan hilangnya mikroorganisme dan bakteri patogen dalam jaringan distribusi air minum. Upaya menghilangkan bakteri patogen dan mikroorganisme yaitu dengan desinfeksi. Klor merupakan jenis desinfektan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

Kualitas air olahan IPAM Tirta Siak Tampan sudah cukup baik. Sebanyak 82% responden telah merasa puas terhadap kualitas air yang diterima. Berdasarkan penilaian kinerja, kualitas air distribusi juga terus mengalami peningkatan, pada tahun 2020 mendapat nilai 2 dan meningkat mendapat nilai 3 pada tahun 2022 (Purba et al., 2024). Kualitas air distribusi berdasarkan hasil uji pada tahun 2022 yang dapat dilihat pada Lampiran A, telah memenuhi baku mutu dalam parameter pH, kekeruhan, dan warna. Hal ini menegaskan bahwa kualitas air Perumdam Tirta Siak telah mengalami peningkatan apabila dibandingkan pada tahun 2020 ke bawah. Namun, penilaian masyarakat saja belum dapat menjadi acuan bahwa kualitas air memang sudah baik karena masyarakat hanya dapat melihat parameter fisik. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa air yang diterima oleh pelanggan sudah bebas dari parameter biologis. Salah satu upaya untuk memastikan bahwa bakteri patogen dan mikroorganisme telah dibunuh atau dinonaktifkan, sisa klor pada jaringan distribusi harus dipastikan dalam jumlah yang cukup. Apabila kandungan sisa klor dalam konsentrasi terlalu rendah atau bahkan tidak ada, mikroorganisme dapat aktif atau berkembang biak.

Hasil pengujian kualitas air yang dilaksanakan oleh Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru pada tahun 2024 yang tercantum pada Lampiran A, hasil uji kualitas air pada Puskesmas Senapelan pada parameter sisa klor belum memenuhi baku mutu. Apabila sisa klor berada di bawah baku mutu atau habis dalam sistem distribusi, terdapat beberapa akibat yang terjadi yaitu resiko berkembang biaknya mikroorganisme, penurunan kualitas air, dan potensi peningkatan penyakit. Oleh karena itu, dibutuhkan studi lebih lanjut mengenai sebaran klor dalam jaringan distribusi untuk memaksimalkan distribusi air minum dan memastikan terdapat sisa klor yang cukup dan sesuai dengan ketentuan pada peraturan yang berlaku. Sesuai ketentuan yang ditetapkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023, kandungan sisa klor pada pelanggan yang diperbolehkan yaitu antara 0,2 hingga 0,5 mg/L. Perumdam bertanggung jawab memastikan bahwa sisa klor ini tetap terjaga selama proses distribusi hingga mencapai pelanggan. Jika kandungannya terlalu rendah atau bahkan nol saat sampai ke pelanggan, ini menunjukkan masalah dalam proses distribusi, seperti kebocoran pipa, pertumbuhan biofilm, atau terlalu panjangnya jalur distribusi tanpa cukup sisa klor.

Pada penelitian terdahulu, terdapat hubungan antara penurunan sisa klor dengan bertambahnya jarak distribusi air minum. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap penurunan kandungan sisa klor yaitu jarak lokasi pengolahan air dengan lokasi pelanggan, kondisi perpipaan, dan kualitas air itu sendiri. Konsentrasi klor bebas pada *outlet* terdekat dengan reservoir sebesar 0,6 mg/L terus mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak distribusi dan habis pada jarak 7 Km (Fatma., 2021). Pada penelitian lainnya, konsentrasi klor bebas pada *outlet* terdekat dengan reservoir sebesar 2,2 mg/L dan terus mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak kemudian tersisa <1 mg/L pada jarak 10 Km (Komala, P, S.,, 2024). Berdasarkan uraian diatas, disebutkan bahwa jarak merupakan salah satu faktor berpengaruh terhadap penurunan sisa klor.

Berdasarkan konsentrasi pembubuhan klor pada IPAM Tirta Siak Panam pada 14 Januari 2025 yaitu sebesar 0,2-0,3 mg/L serta kandungan klor bebas pada *outlet* terdekat dengan reservoir sebesar 0,24 mg/L, maka terdapat indikasi klor bebas habis pada jarak tertentu pada wilayah pelayanan zona 2 Perumdam Tirta Siak. Hal ini juga didukung dari data hasil uji pelanggan yaitu pada Puskesmas Senapelan pada Bulan April dengan sisa klor 0,14 mg/L. Selanjutnya, berdasarkan penelitian dan permasalahan yang telah disebutkan, penulis ingin melakukan penelitian terhadap sisa klor pada jaringan distribusi air minum Perumdam Tirta Siak.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari studi ini yaitu:

1. Bagaimana sebaran sisa klor pada jaringan distribusi air minum zona 2 Perumdam Tirta Siak?
2. Bagaimana cara penyesuaian sisa klor pada pelanggan sesuai ambang batas konsentrasi sisa klor yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023?

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari studi ini yaitu:

1. Lokasi studi dilakukan di wilayah pelayanan zona 2 Perumdam Tirta Siak Pekanbaru.
2. Studi ini dilakukan selama 6 bulan yaitu Bulan Januari-Juli 2025.
3. Parameter yang ditinjau pada studi ini adalah sisa klor, suhu, pH, dan sisa tekan.
4. Studi ini dilakukan terbatas, dengan tidak mempertimbangkan parameter kebocoran pipa.
5. Sebaran sisa klor dilakukan analisis dengan menggunakan software EPANET 2.2.
6. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi EPANET dengan data lapangan menggunakan pendekatan statistik, yaitu perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE).

1.4. Tujuan

Tujuan dari studi ini yaitu:

1. Mengetahui sebaran sisa klor pada jaringan distribusi air minum zona 2 Perumdam Tirta Siak.
2. Merencanakan titik re-klorinasi dan desain bangunan re-klorinasi untuk menjaga konsentrasi sisa klor pada air distribusi yang diterima pelanggan sesuai ambang batas konsentrasi klor yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023.

1.5. Manfaat

Manfaat yang ingin dihasilkan dari studi ini yaitu dapat menghasilkan dokumen yang dapat memberikan rekomendasi kepada Perumdam Tirta Siak dan PT. PP Tirta Madani mengenai penyesuaian sisa klor pada jaringan distribusi air minum, meningkatkan kepercayaan pelanggan, dan menambah pengetahuan mengenai sebaran sisa klor pada jaringan distribusi air minum.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Wilayah

Gambaran umum wilayah memberikan informasi penting mengenai kondisi administrasi, geografis, topografi, hidrologi, serta infrastruktur jaringan yang telah terbangun. Informasi mengenai kondisi wilayah ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area dengan potensi permasalahan teknis maupun operasional. Oleh karena itu, informasi dapat menjadi dasar dalam mendukung proses analisis data dan perencanaan berbasis kondisi aktual di lapangan.

2.1.1. Wilayah Administrasi

Kota pekanbaru ialah ibukota Provinsi Riau yang memiliki luas 632,26 km². Kota ini terbagi menjadi 12 kecamatan, dengan kecamatan paling luas yaitu Kecamatan Tenayan Raya yang memiliki 171,27 km² dan Kecamatan dengan luasan paling kecil adalah Kecamatan Pekanbaru Kota dengan luas 2,26 km². Luas tiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Luas Wilayah Kecamatan

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)
1	Payung Sekaki	35,55
2	Tuahmadani	29,84
3	Binawidya	36,59
4	Bukit Raya	22,05
5	Marpoyan Damai	29,74
6	Tenayan Raya	114,40
7	Kulim	56,87
8	Limapuluh	4,04
9	Sail	3,26
10	Pekanbaru Kota	2,26
11	Sukajadi	3,76
12	Senapelan	6,65
13	Rumbai	61,86
14	Rumbai Barat	86,01
15	Rumbai Timur	138,31
Kota Pekanbaru		631,19

Sumber : BPS Kota Pekanbaru

2.1.2. Kondisi Geografis

Kota pekanbaru secara geografis terletak pada 101°14' – 101°34' Bujur Timur dan 0°25' – 0°45' Lintang Utara. Letak ini strategis sebagai pusat Pemerintahan ibukota Provinsi Riau dimana menjadi pusat perekonomian, perdagangan, jasa industri dan pariwisata. Berdasarkan letak dan posisinya, pada bagian barat berbatasan dengan Kabupaten Kampar, bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Siak dan Palalawan, bagian selatan berbatasan dengan Kabupaten Kampar dan Palalawan, dan bagian utara berbatasan dengan Kabupaten Kampar dan Siak.

2.1.3. Topografi

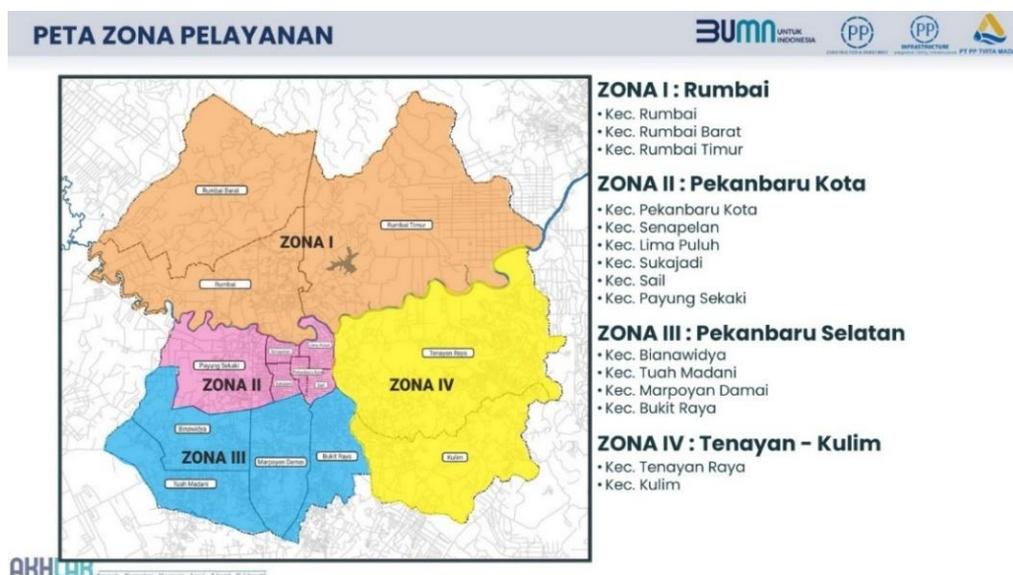
Kota Pekanbaru berada pada elevasi dengan rentang 5 – 50 meter di atas permukaan laut. Wilayah pusat kota dan sekitarnya umumnya memiliki topografi datar dengan elevasi berkisar antara 10-20 meter di atas permukaan laut. Sementara itu, wilayah pada bagian utara kota memiliki elevasi yang relatif tinggi dengan elevasi kurang lebih 50 meter di atas permukaan laut akibat daerah yang berbukit. Secara umum, wilayah Kota Pekanbaru memiliki kemiringan lahan antara 0-2% yang menunjukkan kondisi topografi relatif datar.

2.1.4. Hidrologi

Pada Kota Pekanbaru terdapat 6 sungai besar yang memiliki anak sungai, sungai tersebut merupakan Sungai Siak yang memiliki hulu di bagian barat dan mengalir hingga timur. Sungai tersebut memiliki lebar kurang lebih 96 meter dengan kedalaman kurang lebih 20 meter dan kecepatan aliran kurang lebih 0,75 liter/detik. Sungai tersebut mempunyai beberapa anak sungai yaitu Sungai Umban Sari, Air Hitam, Sibam, Setukul, Pengambang, Ukai, Sago, Senapelan, Mintan dan Tampan. Sungai siak digunakan sebagai sumber air baku yang diolah pada IPAM Tirta Siak Panam. Berdasarkan Keputusan Menteri PUPR Nomor 276 Tahun 2016 Tentang pemberian izin pengusahaan sumber daya air kepada Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Siak Kota Pekanbaru untuk usaha air minum di Sungai Siak adalah sebesar 1.990 L/s.

2.2. Sistem Distribusi Air Minum Kota Pekanbaru

Sumber air yang digunakan sebagai air baku oleh Perumdam Tirta Siak merupakan air permukaan yang bersumber dari Sungai Siak, Danau Buatan, dan Sungai Kampar. Pada Zona I menggunakan sumber utama Danau Buatan, Sungai Siak untuk Zona II, dan Sungai Kampar untuk Zona III. Wilayah pelayanan pada Kota Pekanbaru dibagi menjadi 4 zona seperti pada Gambar 2.1.



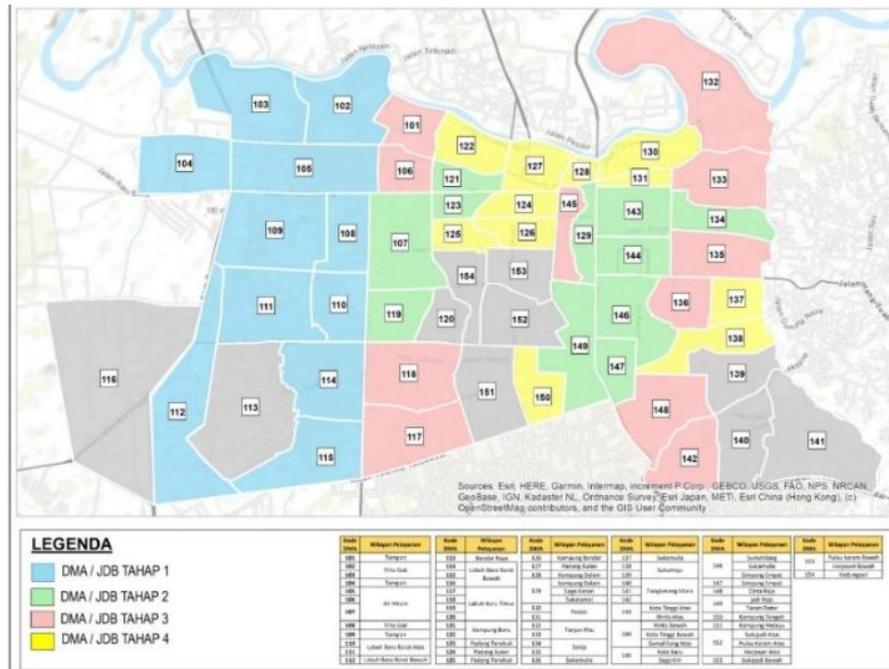
Gambar 2.1 Peta Zona Pelayanan Perumdam Tirta Siak

Sumber : PT. PP Tirta Madani

Sistem penyaluran air pada perpipaan transmisi dibantu dengan menggunakan alat pompa. Pipa Distribusi yang dipakai dalam sistem penyediaan air minum Perumdam Air Minum Tirta Siak Kota Pekanbaru untuk mengalirkan air baku maupun air minum bervariasi antara diameter 150 mm sampai diameter 400 mm. Sistem distribusi pada Perumdam Tirta Siak secara umum terbagi menjadi 3 zona pelayanan yaitu Zona I yang dilayani oleh IPA dan

Reservoir Distribusi Tampan, Zona II yang dilayani oleh IPA dan Reservoir Distribusi Rumbai, dan zona yang dilayani oleh IPA dan Reservoir Distribusi Kualu. Sistem pengaliran dari reservoir distribusi Tampan dan Kualu ke wilayah pelayanan dilakukan dengan sistem per pompaan, sedangkan pengaliran dari reservoir distribusi Rumbai ke wilayah pelayanan dilakukan dengan sistem gravitasi.

Pada wilayah zona 2 ini juga terbagi ke dalam 154 DMA. Berikut peta pembagian DMA wilayah zona 2 Kota Pekanbaru pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Peta Pembagian DMA Wilayah Zona 2

Sumber: PT. PP Tirta Madani

Pada wilayah zona 2 ini juga terbagi ke dalam 154 DMA. Data jumlah sambungan rumah eksisting pada tahun 2023 sebanyak 9.798 pelanggan (Perumdam Tirta Siak Pekanbaru, 2024). Namun, pada data DMA yang diberikan hanya berjumlah 6.807. Kedua data dapat berbeda karena data pelanggan per-DMA sampai saat ini belum diperbarui. Data jumlah pelanggan per DMA dapat diketahui pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jumlah Pelanggan tiap DMA

DMA	SR	DMA	SR	DMA	SR
101	251	121	308	141	0
102	168	122	549	142	41
103	72	123	413	143	300
104	0	124	169	144	169
105	158	125	87	145	152
106	215	126	359	146	129
107	318	127	289	147	121
108	4	128	84	148	76
109	61	129	315	149	98
110	231	130	340	150	9

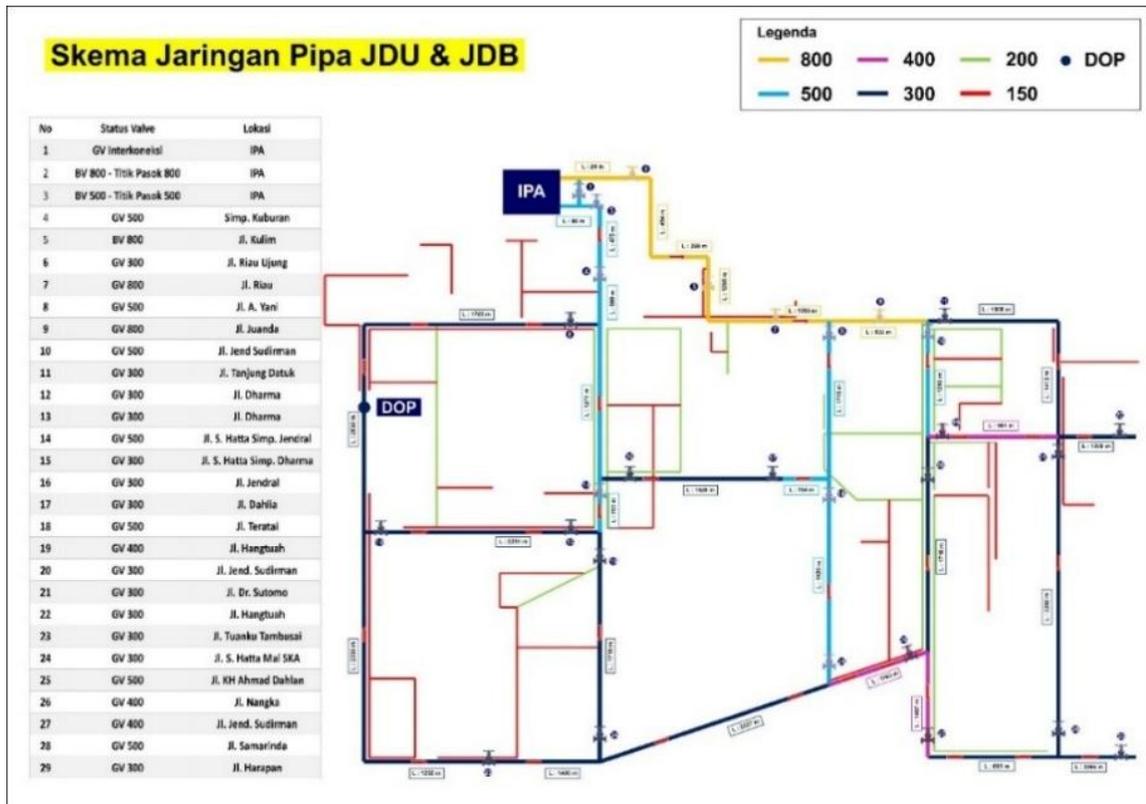
DMA	SR
111	231
112	0
113	229
114	122
115	60
116	0
117	51
118	20
119	-
120	29

DMA	SR
131	65
132	38
133	0
134	52
135	103
136	30
137	48
138	19
139	7
140	2

DMA	SR
151	77
152	34
153	164
154	44
Total	6807

Sumber : PT. PP Tirta Madani

Berikut ini jaringan distribusi eksisting pada wilayah zona 2 Perumdam Tirta Siak yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jaringan Eksisting Wilayah Pelayanan Zona 2

Sumber : PT. PP Tirta Madani

2.3. Air Minum

Air termasuk salah satu kebutuhan dasar yang memiliki peranan sangat vital bagi kehidupan manusia. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No. 2 Tahun 2023, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung di konsumsi. Air minum dapat dikatakan memenuhi syarat kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, serta kimia dan radioaktif yang tercantum dalam parameter wajib dan parameter tambahan

(Sumolang et al., 2020). Persyaratan kualitas air minum tercantum pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang peraturan pelaksanaan dari Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Dalam peraturan tersebut, air minum dianggap tidak berbahaya jika memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

Air minum yang baik bukan hanya memiliki dampak positif terhadap kesehatan, namun juga berperan penting dalam menjaga kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan. Air yang belum memenuhi standar baku mutu dapat menjadi media penyebaran berbagai penyakit, seperti diare, kolera, tifus, dan infeksi saluran pencernaan lainnya. Oleh karena itu, penyediaan air minum yang aman dan layak menjadi prioritas utama dalam upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat. Pengelolaan air minum ini melibatkan berbagai pihak, mulai dari pemerintah, penyedia layanan air bersih, hingga masyarakat. Oleh karena itu, kolaborasi dari berbagai pihak menjadi kunci utama untuk menjamin ketersediaan air minum yang aman dan berkelanjutan.

2.4. Kebutuhan Air Minum

Kebutuhan air merujuk pada jumlah air yang diperlukan untuk dikonsumsi dan memperhitungkan potensi kehilangan air. Syarat-syarat dan juga prinsip yang harus dipenuhi agar air dapat didistribusikan secara layak adalah:

a. Kualitas

Air yang disalurkan menuju konsumen harus dipastikan memenuhi ketentuan standar baku mutu air minum yang telah ditetapkan agar tidak berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan.

b. Kontinuitas

Ketersediaan air diharuskan bersifat kontinu, dimana air dipastikan tersedia pada setiap waktu untuk memenuhi kebutuhan masyarakat tanpa terputus.

c. Kuantitas.

Jumlah air yang didistribusikan harus sesuai dengan kebutuhan masyarakat daerah pelayanan.

d. Keterjangkauan

Sistem distribusi harus memperhatikan wilayah yang akan direncanakan, perpipaan distribusi harus menjangkau seluruh wilayah daerah pelayanan.

Faktor penggunaan air dapat bervariasi antara daerah yang satu dengan daerah yang lainnya, tergantung dari beberapa faktor seperti cuaca, karakteristik lingkungan, jumlah penduduk, tingkat industrialisasi, dan sebagainya. Kebutuhan dasar serta potensi kehilangan air mengalami fluktuasi seiring waktu, baik dalam hitungan jam, hari, bulan, hingga dalam kurun waktu satu tahun. Variasi dalam penggunaan air ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- Ketersediaan air
- Pola dan tingkat kehidupan
- Kebiasaan atau aktivitas masyarakat
- Harga air
- Keadaan sosial ekonomi masyarakat
- Harga air
- Kualitas air
- Faktor teknis ketersediaan air (kemudahan dalam mendapatkannya)

Berdasarkan faktor tersebut yang dapat menyebabkan terjadi perbedaan fluktuasi kebutuhan air pada masing-masing daerah. Kemudian kebutuhan air bersih dapat dibagi menjadi dua yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik.

2.5. Sistem Penyediaan Air Minum Jaringan Perpipaan

Penyediaan Air Minum ialah rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk menyediakan air minum dalam upaya memenuhi kebutuhan masyarakat sehingga masyarakat tersebut memiliki kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif. Sedangkan Sistem Penyediaan Air Minum yang disingkat SPAM ialah suatu kesatuan antara sarana dan juga prasarana dalam kegiatan penyediaan air minum (Pemerintah Republik Indonesia, 2015). SPAM terdiri dari 2 jenis yaitu SPAM jaringan perpipaan dan SPAM bukan jaringan perpipaan. SPAM jaringan perpipaan ditujukan memastikan kuantitas, kualitas, dan juga kontinuitas dari proses distribusi air minum. Berikut komponen dari SPAM Jaringan Perpipaan.

a. Unit Air Baku

Unit air baku yaitu sarana penyediaan air baku yang meliputi bangunan penampungan air, bangunan pengambilan/penyadapan, alat pengukuran serta pemantauan, sistem pemompaan dan bangunan sarana pembawa serta perlengkapannya.

b. Unit Produksi

Unit produksi merupakan unit pengolahan air baku yang pada umumnya disebut Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yang terdiri dari bangunan pengolahan, perangkat operasional, dan alat pengukuran serta pemantauan, serta bangunan penampungan air minum. Pada unit ini, air baku melalui serangkaian proses baik fisik, kimia dan atau biologi. Proses ini bertujuan mengolah air baku menjadi air minum yang sesuai dengan baku mutu pada peraturan perundangan yang berlaku.

c. Unit Distribusi

Unit distribusi merupakan unit yang berperan mengalirkan air minum hasil produksi menuju pelanggan. Unit ini terdiri dari jaringan perpipaan, alat pengukuran serta pemantauan, dan bangunan penampungan. Dalam upaya penyediaan air minum, sistem jaringan distribusi merupakan hal yang sangat penting agar air minum yang telah terolah tersebut dapat disalurkan sesuai dengan prinsip 4K. Prinsip 4K pada kegiatan penyediaan air minum yaitu kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan (Novita & Marsono, 2019).

d. Unit Pelayanan

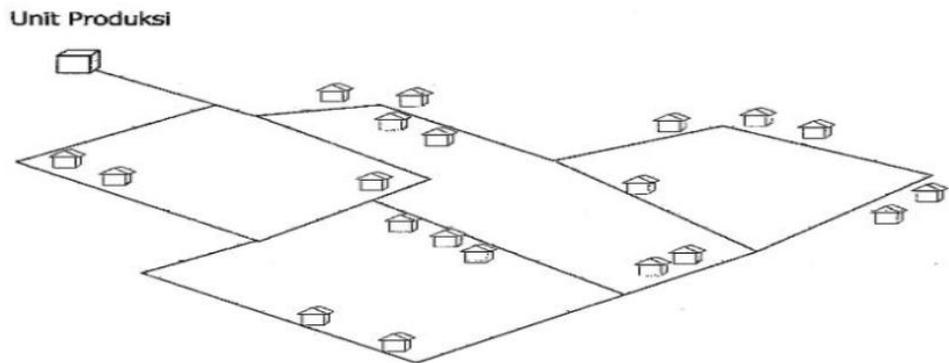
Unit pelayanan merupakan titik lokasi pengambilan air yang meliputi dari sambungan rumah, hidran umum, dan atau hidran kebakaran. Setiap unit pelayanan harus dilengkapi dengan meter air untuk mengetahui volume pemakaian.

2.6. Pola Jaringan Sistem Distribusi Air Minum

Pola yang biasa digunakan dalam jaringan perpipaan distribusi yaitu:

a. Sistem jaringan melingkar (*loop*)

Sistem jaringan melingkar atau *loop system* terdiri dari pipa yang saling terhubung sehingga membentuk suatu lingkaran tertutup, sehingga dapat terbentuk sirkulasi air di seluruh sistem distribusi. Pipa induk disambungkan dengan pipa cabang dan selanjutnya air dari pipa cabang dialirkan kepada pelanggan. Kekurangan sistem ini yaitu diperlukan pipa yang cenderung lebih panjang dengan diameter yang lebih bervariasi sehingga sistem ini dinilai kurang menguntungkan dari sisi ekonomi. Sementara itu, dari sisi hidrolis, sistem ini lebih efisien karena apabila terjadi kerusakan pada satu bagian jaringan, aliran air pada bagian lain tetap bisa berlangsung melalui jalur *loop* lainnya. Sistem ini cocok digunakan pada daerah yang memiliki pola jaringan jalan terhubung antara satu dengan lainnya. Selain itu, sistem ini juga cocok digunakan pada wilayah dengan bentuk dan perluasan kota yang menyebar ke berbagai arah dan elevasi tanahnya relatif datar.

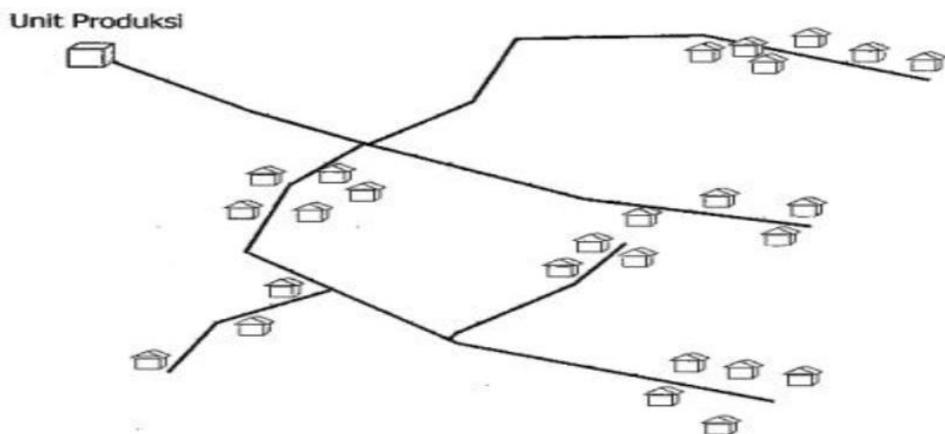


Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Melingkar

Sumber: mutuutamageoteknik.co.id

b. Sistem jaringan cabang (*branch*)

Sistem jaringan cabang terdiri dari pipa induk yang menyambung dengan pipa sekunder dan dapat disambungkan lagi dengan percabangan pipa lainnya sehingga berakhir pada pipa yang menuju ke konsumen. Sistem ini menguntungkan dari segi ekonomis dikarenakan panjang pipa dapat lebih pendek serta memiliki diameter yang cenderung lebih kecil. Namun, terdapat kendala dalam pengoperasiannya, yaitu jika terjadi kerusakan, maka terdapat wilayah pelayanan yang tidak menerima suplai air akibat tidak adanya aliran sirkulasi. Sistem jaringan ini cocok diterapkan di wilayah yang sedang mengalami perkembangan, terutama pada perluasan kota yang tidak teratur serta jaringan jalan yang tidak berhubungan di beberapa bagian tertentu.



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Sistem Cabang

Sumber: mutuutamageoteknik.co.id

c. Sistem gabungan

Sistem ini menggunakan dua pola pengaliran yaitu sistem melingkar dan cabang dalam proses distribusinya. Dengan menggunakan pola jaringan sistem perpipaan ini, maka sistem distribusi air minum yang akan direncanakan dapat disesuaikan dengan kondisi yang ada (Dairi dan Sukarmin, 2022).

2.7. Desinfeksi

Proses desinfeksi memegang peranan penting dalam upaya pemenuhan kualitas air minum. Desinfeksi merupakan proses pembubuhan bahan kimia yang memiliki tujuan membunuh mikroorganisme patogen yang terdapat dalam air baik yang bersumber dari instalasi pengolahan atau yang masuk melalui jaringan perpipaan. Terdapat 3 jenis desinfeksi yaitu desinfeksi secara fisik, ultraviolet, dan kimia. Berikut penjelasan tiap jenis desinfeksi.

1. Desinfeksi Fisik

Desinfeksi secara fisik menggunakan metode dengan tidak melibatkan bahan kimia. Metode desinfeksi dapat dengan memanfaatkan panas serta filtrasi. Pada metode menggunakan panas, air dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu yang cukup untuk membunuh mikroorganisme patogen. Teknologi filtrasi juga dapat digunakan seperti teknologi membran nanofiltrasi bahkan efektif untuk patogen seperti oosit *Cryptosporidium*, yang telah menjadi perhatian utama di beberapa negara maju (Vijaya, K., 2021).

2. Desinfeksi Ultraviolet (UV)

Penggunaan sinar ultraviolet sebagai modalitas desinfeksi sudah dilakukan sejak lama. Desinfeksi dengan penggunaan UV dapat dilakukan baik pada skala industri maupun rumah tangga. Beberapa keuntungan desinfeksi menggunakan UV yaitu tidak berdampak pada rasa serta bau, tidak membutuhkan area penyimpanan yang luas, dan tidak dibutuhkan penanganan bahan kimia beracun. Sementara itu, metode ini juga terdapat kekurangan yaitu relatif sulit menentukan dosis UV yang sesuai (Gideon & Marpaung, 2024).

Sinar UV pada proses desinfeksi pengolahan air atau umumnya disebut reaktor UV dihasilkan dari lampu UV yang prinsip kerjanya mirip dengan lampu neon. Tabung lampu UV diisi dengan gas inert yang biasanya berupa argon dan merkuri. Proses iradiasi dalam reaktor UV adalah mengubah DNA dalam sel patogen tersebut yang menghambat proses reproduksinya (Yushananta et al., 2022).

3. Desinfeksi Kimia

Desinfeksi secara kimia merupakan proses menonaktifkan atau membunuh mikroorganisme patogen dengan memanfaatkan berbagai bahan kimia. Jenis bahan kimia yang umum digunakan di Indonesia yaitu klorin dan kaporit. Klorin bekerja dengan cara mengoksidasi sel mikroorganisme sehingga merusak dinding sel dan menghentikan metabolisme mikroorganisme. Namun, penggunaan klorin juga perlu diperhatikan karena dapat menghasilkan produk sampingan berbahaya seperti trihalomethana (THM) yang bersifat karsinogenik (Richardson & Kimura, 2017).

2.8. Klorin

Klorin merupakan salah satu bahan kimia yang paling umum digunakan dalam proses desinfeksi, terutama dalam pengolahan air minum. Fungsi utama klorin yaitu sebagai agen oksidasi yang efektif dalam membunuh berbagai mikroorganisme patogen seperti bakteri dan virus. Prinsip kerja klorin yaitu klorin akan bereaksi dengan air untuk membentuk asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl⁻). Asam hipoklorit adalah bentuk aktif yang memiliki kemampuan oksidasi tinggi dan efektif dalam merusak struktur sel mikroorganisme (Pasaribu et al., 2021). Klorin dapat menghancurkan DNA dan RNA patogen, sehingga menghalangi replikasi sel. Efektivitas klorin dalam membunuh patogen berbeda bergantung pada jenis mikroorganisme serta kondisi lingkungan seperti pH dan suhu (Busyairi et al., 2016).

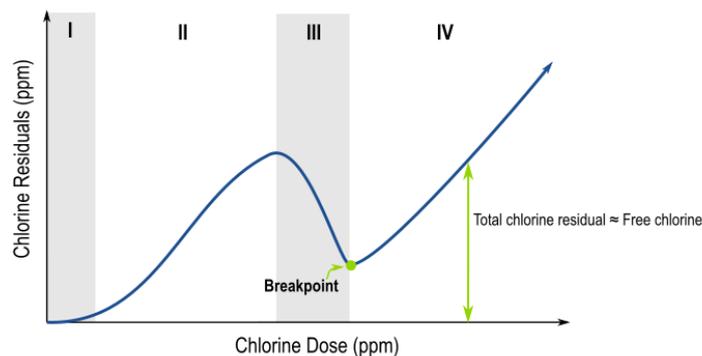
Klorin memiliki efek residual yang berarti setelah disinfeksi, sisa klorin dapat tetap ada dalam air untuk melindungi dari kontaminasi ulang. Klorin yang tersisa dalam jaringan

distribusi dipengaruhi oleh injeksi konsentrasi klorin di reservoir, waktu injeksi, dan jarak yang ditempuh air dari reservoir ke pelanggan (Kallista & Asbanu, 2023). Lama waktu

Lama waktu yang dilewati oleh air atau biasa disebut umur air, dapat berpengaruh terhadap perubahan kandungan sisa klor. Semakin lama air tertahan dalam sistem distribusi, semakin banyak reaksi kimia yang terjadi, sehingga kandungan klor bebas semakin berkurang. Umur air ditentukan oleh kecepatan aliran dan juga usia air selama di dalam sistem distribusi (Sofia et al., 2015).

2.9. Breakpoint Chlorination (BPC)

Breakpoint chlorination (BPC) merupakan titik konsentrasi klor aktif yang terdiri dari ion ClO^- dan OHCl yang diperlukan dalam bahan organik serta bahan-bahan lain yang bersifat oksidatif serta menonaktifkan mikroorganisme. BPC mencakup tahapan di mana klor bereaksi dengan berbagai senyawa, yang pada akhirnya menghasilkan sisa klor bebas yang berfungsi sebagai disinfektan. Penentuan titik BPC penting untuk menentukan jumlah klor aktif untuk mengurangi potensi terbentuknya Trihalometan (THM) yang bersifat karsinogenik dan mutagenik (Shovitri, 2011). Hubungan antara dosis klor yang dibutuhkan dengan konsentrasi sisa klor digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Grafik BPC

Sumber : kuntzeusa.com

Pada grafik tersebut terdapat beberapa tahap sebagai berikut :

1. Tahap Oksidasi Klorin (Zona I)

Pada tahap ini, terjadi klorin dipecah oleh senyawa yang dapat dioksidasi oleh klorin seperti bahan organik. Pada zona ini, klor (Cl_2) bereaksi dengan senyawa yang mudah teroksidasi seperti besi (Fe^{2+}) dan mangan (Mn^{2+}). Selama tahapan ini, belum dapat diidentifikasi konsentrasi sisa klor. Air yang mengandung bahan organik cukup tinggi memerlukan dosis klor yang lebih besar (Busyairi et al., 2016)

2. Tahap Pembentukan Kloramin (Zona II)

Setelah senyawa pereduksi teroksidasi, klor mulai bereaksi dengan ammonia dan membentuk kloramin. Reaksi kimia pada tahap ini yaitu klor aktif (HOCl dan OCl^-) bereaksi dengan ammonia (NH_3) untuk membentuk kloramin, seperti monokloramin (NH_2Cl) dan dikloramin (Herawati et al., 2017).

3. Tahap Penghilangan Ammonia (Zona III)

Pada zona ini, ammonia yang tersisa dalam larutan akan dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrogen (N_2) dan senyawa lain. Pada tahap ini terjadi *breakpoint chlorination* dimana dapat diketahui jumlah klor yang dibutuhkan agar semua zat yang dapat dioksidasi teroksidasi, menghilangkan ammonia, terdapat residu klor aktif yang dianggap perlu untuk membunuh mikroorganisme patogen (Busyairi et al., 2016).

4. Klor Bebas (Zona IV)

Setelah melewati BPC, hanya klor bebas yang tersisa. Pada tahap ini, semua senyawa ammonia telah teroksidasi menjadi nitrogen, dan klor bebas mulai berfungsi sebagai disinfektan. Pada tahap ini, air dianggap aman untuk digunakan atau dibuang setelah melalui proses pengolahan (Busyairi et al., 2016).

2.10. Uji Statistik Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) yaitu nilai statistik dalam menilai seberapa baik model yang memprediksi suatu kondisi mendekati kondisi saat ini. Nilai ini merupakan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. RMSE sering digunakan dalam analisis regresi dan model peramalan untuk mengevaluasi kinerja model (Tatachar, 2021).

Berikut rumus mencari nilai RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Keterangan :

- n = jumlah observasi,
- y_i = nilai aktual,
- \hat{y}_i = nilai prediksi.

Nilai yang dihasilkan perhitungan RMSE menunjukkan semakin kecil nilai yang dihasilkan maka berarti bahwa model memiliki akurasi yang lebih baik. Kelebihan dari perhitungan statistik metode RMSE ini yaitu mudah dihitung dan diinterpretasikan. Perhitungan nilai RMSE menggunakan *software* EPANET 2.2 untuk memudahkan dalam perhitungan serta memberikan hasil secara langsung baik dalam bentuk tabel dan grafik.

2.11. Uji Normalitas

Uji normalitas diperlukan dalam menentukan apakah suatu kumpulan data berdistribusi secara normal. Hal tersebut dibutuhkan dalam analisis lanjutan yaitu analisis korelasi. Karena sampel berjumlah kurang dari 30 maka digunakan uji normalitas Shapiro-Wilk. Data dapat dinyatakan terdistribusi normal jika hasil pengujian signifikan ($p > 0,05$). Sebaliknya, data dapat dikatakan tidak terdistribusi normal yaitu data dengan temuan pengujiannya tidak signifikan secara statistik ($p < 0,05$) (Ramadhani et al., 2024).

Uji normalitas berperan dalam menentukan jenis analisis statistik yang akan digunakan. Jika data berdistribusi normal, maka analisis parametrik yaitu uji korelasi *Pearson* dapat digunakan. Sebaliknya, apabila data tidak terdistribusi secara normal, maka digunakan analisis non-parametrik yaitu *Rank Spearman*. Oleh karena itu, uji normalitas menjadi dasar dalam pemilihan metode analisis yang tepat agar hasil analisis valid. Uji normalitas ini menggunakan *software* SPSS dalam pengolahan data serta mempermudah dalam interpretasi hasil karena memiliki output yang menyajikan nilai signifikansi secara langsung. Hal ini juga mempermudah dalam mengambil keputusan uji statistik yang akan digunakan.

2.12. Analisis Korelasi

Nilai yang dihasilkan pada perhitungan analisis korelasi dapat menentukan derajat hubungan antar variabel yang saling berhubungan. Terdapat dua metode analisis korelasi yang digunakan yaitu korelasi *Pearson* untuk data dengan distribusi normal dan analisis *Rank Spearman* yang tidak membutuhkan nilai asumsi normalitas dan linearitas sehingga dapat digunakan pada data dengan distribusi tidak normal. Berikut persamaan yang digunakan (Ramadhani et al., 2024).

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dalam pengambilan keputusan, digunakan nilai signifikansi. Apabila nilai nilai Sig lebih besar dari 0,05 maka Ho diterima dan Ha ditolak. Hal ini menunjukkan tidak terdapat korelasi antar variabel. Sebaliknya, apabila nilai Signya kurang dari 0,05. Ho ditolak dan Ha diterima. Hal ini berarti bahwa terdapat korelasi antar variabel. Nilai koefisien korelasi berada antara -1 dan +1, dimana semakin kuat korelasi antar variabel maka nilai akan semakin mendekati +1. Kemudian, apabila nilainya mendekati atau sama dengan nol maka tidak ada hubungan sama sekali atau hubungan antar variabel sangat rendah (Ramadhani et al., 2024).

2.13. Penelitian Terdahulu

Berikut penelitian terdahulu mengenai topik yang berkaitan dengan kandungan sisa klor pada jaringan distribusi air minum.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Judul	Isi Penelitian
1	Afrianita, R., Komala, S. P., & Andriani, Y. (2016).	Kajian kandungan sisa klor di jaringan distribusi penyediaan air minum Rayon 8 PDAM Kota Padang.	Lokasi pengambilan sampel dilakukan berdasarkan pembagian kluster. Pembagian kluster adalah pembagian wilayah menjadi <i>grid-grid</i> yang memiliki interval jarak tertentu. Waktu sampling dilakukan pagi hari pada pukul 08.30-10.00 WIB. Kandungan sisa klor semakin berkurang seiring bertambahnya jarak Wilayah dengan kandungan sisa klor di bawah baku mutu berada pada jarak 3 hingga 6 Km (Afrianita et al., 2016).
2	Ramadhan, A., I., Ratni, N. (2021).	Analisa Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi PDAM Kabupaten Bantul Dengan EPANET 2.0.	Simulasi hidrolis dilakukan dengan <i>Software</i> EPANET 2.0 yang diawali analisis hidrolis dengan memperhatikan kecepatan dan tekanan kondisi eksisting jaringan distribusi air minum. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi data sisa klor lapangan dengan hasil <i>Running</i> EPANET 2.0 dengan hasil akhir berupa visual sebaran sisa klor dalam jaringan untuk mengetahui sebaran sisa klor (Ramadhan & Ratni, 2021).
3	Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, C. (2017).	Evaluasi dan analisis pola sebaran sisa klor bebas pada jaringan distribusi IPA Sungai Lutut PDAM Bandarmasih.	Penelitian mengenai metode dalam pengambilan sampel hingga kalibrasi model EPANET. Metode pengambilan sampel pada pelanggan dengan metode DPD. Selanjutnya, koefisien <i>bulk</i> didapat dari pengambilan sampel dengan waktu pengambilan sampel per 10 menit. Kemudian nilai <i>bulk reaction</i> di masukkan dalam permodelan EPANET dan di <i>running</i> sehingga dapat mengetahui nilai <i>wall reaction</i> .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

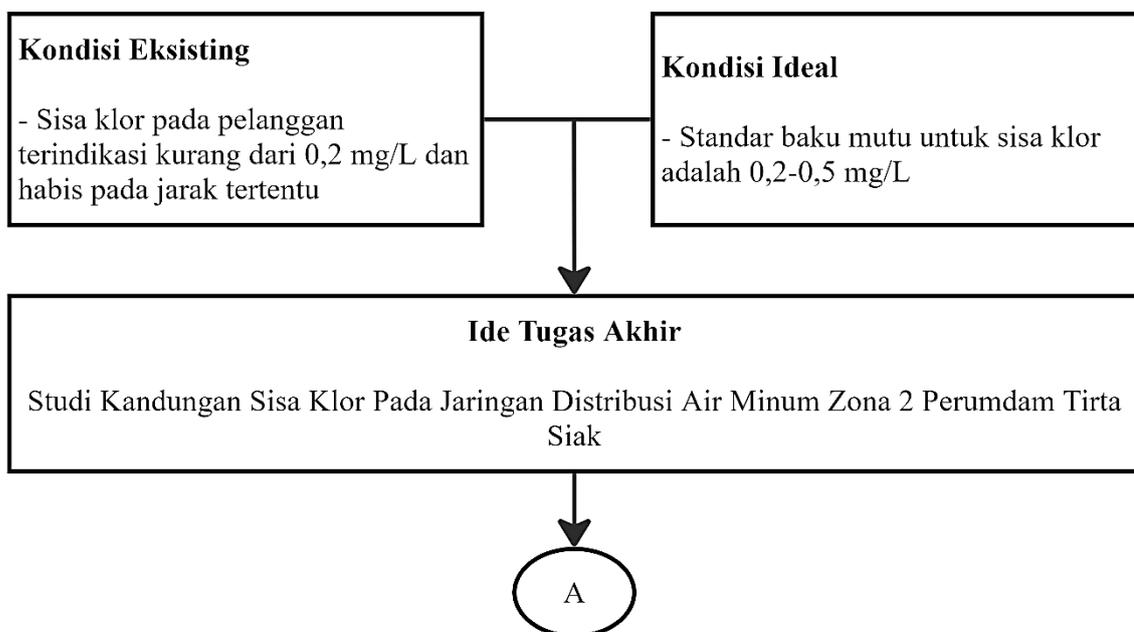
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Deskripsi Umum

Penelitian ini dilakukan agar mengetahui sebaran sisa klor dan kandungan sisa klor pada pelanggan Perumdam Tirta Siak Pekanbaru dengan melakukan simulasi hidrolis pada *software* EPANET 2.2. Sisa klor merupakan parameter penting yang berfungsi membunuh bakteri sehingga dapat memastikan bahwa air minum tidak mengandung parameter biologis. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran di lapangan serta simulasi hidrolis menggunakan *software* EPANET 2.2 untuk memahami pola sebaran sisa klor di jaringan distribusi. Selain itu, dilakukan validasi antara hasil pengukuran lapangan dengan simulasi pemodelan. Hubungan antara sisa klor dengan faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan pH juga dianalisis, mengingat keduanya dapat memengaruhi stabilitas klor dalam air. Studi ini dilakukan untuk dapat mengetahui solusi yang dapat digunakan untuk menyesuaikan sisa klor pada pelanggan agar sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes). Temuan dalam studi ini diharapkan dapat menjadi acuan Perumdam Tirta Siak dalam peningkatan manajemen kualitas air minum serta memastikan bahwa air yang diterima oleh pelanggan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian digunakan agar dapat memudahkan kelancaran pelaksanaan penelitian sehingga seluruh tahapan dapat dilakukan secara sistematis. Selain itu, kerangka penelitian juga bertujuan membantu untuk memfokuskan tujuan, rumusan masalah, dan batasan-batasan penelitian. Kerangka penelitian ini dapat menggambarkan penelitian yang akan dilakukan, dimulai dari identifikasi permasalahan dan langkah-langkah untuk mencapai tujuan dalam penelitian. Kerangka penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1.



A

Rumusan Masalah

1. Bagaimana penyebaran sisa klor pada jaringan distribusi air minum zona 2 Perumdam Tirta Siak?
2. Bagaimana cara penyesuaian sisa klor pada pelanggan sesuai ambang batas konsentrasi sisa klor yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023?

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui penyebaran sisa klor dan sisa tekan pada jaringan distribusi air minum zona 2 Perumdam Tirta Siak.
2. Merencanakan desain sisa klor pada pelanggan sesuai ambang batas konsentrasi klor yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023.

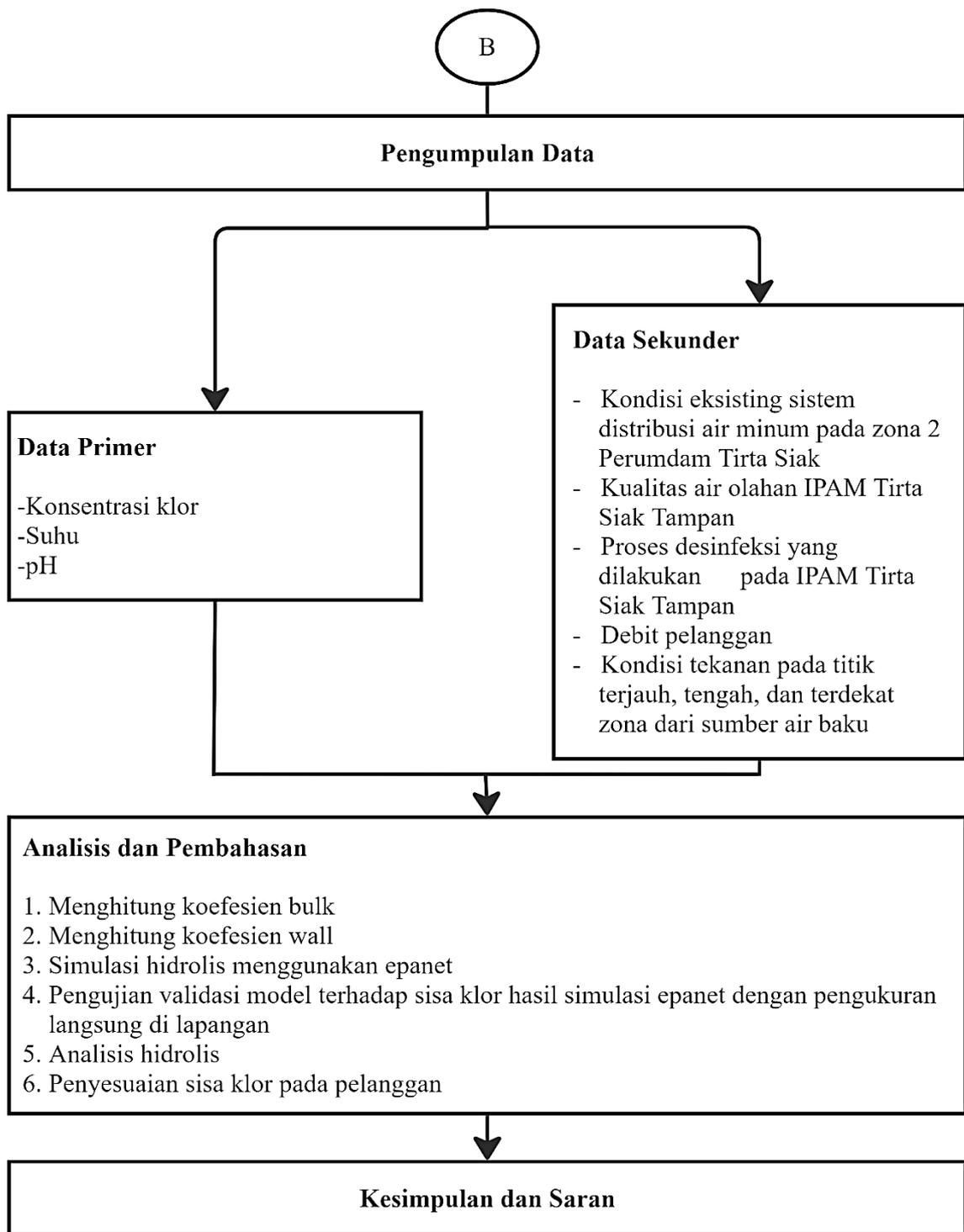
Tinjauan Pustaka

- Gambaran Umum Wilayah
- Sistem Distribusi Air Minum Kota Pekanbaru
- Air Minum
- Kebutuhan Air Minum
- Sistem Penyediaan Air Minum Jaringan Perpipaan
- Pola Jaringan Sistem Distribusi Air Minum
- Desinfeksi
- Klorin
- *Breakpoint Chlorination* (BPC)
- Uji Statistik RMSE
- Penelitian Terdahulu

Perijinan

- PT PP Tirta Madani
- Perumdam Tirta Siak

B



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3. Tahap Penelitian

Tahap penelitian berisi penjelasan dari setiap langkah yang telah tercantum pada kerangka penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian secara terstruktur dan terarah. Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut terkait kerangka penelitian.

3.3.1. Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari latar belakang permasalahan yaitu hasil uji kualitas air yang dilakukan oleh Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru pada tahun 2024 pada Puskesmas

Senapelan yang dapat dilihat pada Lampiran A menunjukkan bahwa pada parameter sisa klor belum memenuhi baku mutu. Namun, parameter lainnya menunjukkan kualitas yang baik dan telah memenuhi baku mutu. Selanjutnya, dilakukan analisis serta wawancara pihak terkait untuk menemukan permasalahan yang terjadi. Kemudian diketahui bahwa IPAM Tirta Siak Tampan di Kota Pekanbaru telah menghasilkan air olahan yang memenuhi standar kualitas Permenkes No. 2 Tahun 2023 pada titik reservoir. Namun, pada pelanggan belum terdapat uji parameter sisa klor yang dilakukan untuk mengetahui sebaran sisa klor. Hasil uji parameter kekeruhan, warna, dan pH pada pelanggan sudah dilakukan oleh pihak terkait dan menunjukkan hasil yang sesuai dengan baku mutu yang berlaku. Namun, hal tersebut belum menjamin hilangnya mikroorganisme dan bakteri patogen pada jaringan distribusi air minum akibat kemungkinan penurunan kandungan sisa klor selama distribusi dan menyebabkan sisa klor habis. Sisa klor, yang berfungsi sebagai disinfektan, perlu dipastikan tetap memiliki kandungan 0,2-0,5 mg/L hingga mencapai pelanggan. Penurunan sisa klor dapat disebabkan oleh jarak distribusi, kondisi perpipaan, serta pertumbuhan biofilm, sebagaimana ditemukan dalam penelitian terdahulu. Pada wilayah pelayanan zona 2 Perumdam Tirta Siak, terdapat indikasi habisnya klor pada jarak distribusi tertentu sehingga diperlukan analisis untuk memastikan kualitas air tetap baik hingga ke pelanggan. Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penulis bermaksud untuk melakukan studi dengan tujuan agar mengetahui pola sebaran distribusi sisa klor dalam jaringan distribusi air minum serta solusi yang dapat diimplementasikan untuk menjaga kandungan sisa klor dalam air minum yang diterima pelanggan berada pada konsentrasi 0,2-0,5 mg/L.

3.3.2. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahapan dalam penelitian bertujuan mengumpulkan, membaca, dan memahami informasi yang relevan dari berbagai sumber ilmiah terkait topik penelitian yang sedang dilakukan. Studi literatur ini dilakukan sejak awal penelitian sampai tahap akhir. Literatur yang digunakan pada penelitian ini antara lain mengenai jaringan eksisting, baik dalam bentuk artikel maupun jurnal yang berhubungan dengan penyediaan air minum, dan peraturan yang berkaitan dengan sistem distribusi air minum. Melalui studi literatur, penulis dapat memperjelas fokus penelitian, merumuskan pertanyaan atau hipotesis, memilih metode yang sesuai, dan memastikan bahwa penelitian yang dilakukan memiliki kontribusi baru dan tidak hanya mengulang hasil yang sudah ada. Selain itu, tujuan dilakukan studi literatur adalah mengetahui dasar teori sebelum dilakukan penelitian lapangan.

3.3.3. Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan pada penelitian ini yaitu menguji akurasi alat *portable* “HANNA HI701 Checker – Free Chlorine” dengan membandingkan hasil uji alat laboratorium yang telah dilakukan pengujian akurasi secara rutin oleh pihak eksternal. Alat laboratorium yang digunakan sebagai perbandingan yaitu “HACH Spectrophotometer DR 3900”, dilakukan dengan mengukur secara langsung sisa klor pada *outlet* terdekat dengan reservoir. Pengujian akurasi alat *portable* dilakukan untuk mengetahui apakah alat *portable* dalam kondisi baik sehingga dapat digunakan untuk mengukur sisa klor di lapangan. Alat ukur perbandingan menggunakan “HACH Spectrophotometer DR 3900” pada Laboratorium PT. PP Tirta Madani dikarenakan alat tersebut rutin dikalibrasi dan memiliki tingkat kesalahan yang sangat minim. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode DPD yang nantinya akan digunakan metode yang sama untuk pengujian sisa klor di pelanggan. Berikut hasil pengukuran menggunakan “HACH Spectrophotometer DR 3900”, didapat sisa klor sebesar 0.24 mg/L yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Sisa Klor

Hasil uji pendahuluan ini didapatkan bahwa terdapat perbedaan hasil pengukuran kandungan sisa klor dengan menggunakan alat HANNA Free Chlorine Checker dengan HACH Spectrophotometer. Pemeriksaan kandungan sisa klor dengan menggunakan alat HANNA Free Chlorine Checker dan menggunakan sampel yang sama mempunyai hasil sama dengan atau berbeda 0.01 mg/L atau $\pm 4\%$ dibandingkan dengan HACH Spectrophotometer. Berdasarkan US EPA Method 334, tingkat perbedaan yang diperbolehkan adalah $\pm 15\%$ dari hasil yang diharapkan. Oleh karena itu, tingkat perbedaan alat yang digunakan masih dalam batas yang diperbolehkan. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan pengukuran yaitu :

1. Terdapat sidik jari pada kuvet
2. Air sampel dan reagen belum homogen
3. Terdapat bubuk reagen yang menempel pada dinding kuvet



Gambar 3.3 Hasil Pengukuran Sisa Klor Alat *Portable*

3.3.4. Persiapan Penelitian

Sebelum pengukuran sisa klor, maka diperlukan persiapan berupa penentuan jumlah sampel, penentuan titik sampling, serta persiapan alat dan bahan. Persiapan ini dilakukan dengan studi literatur terlebih dahulu. Berikut persiapan yang dilakukan.

- Penentuan jumlah sampel
Pengambilan sampel dilakukan sesuai peraturan yang ditetapkan oleh Permenkes dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023. Penentuan jumlah sampel dan frekuensi pengambilan sampel air minum pada jaringan perpipaan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah dan Frekuensi Sampling

Parameter	Jumlah penduduk yang dilayani	Jumlah sampel	Frekuensi
Kimia	<5.000	1	6 bulan sekali
	5.000-100.000	1 per 5.000	
	>100.000	1 per 10.000 ditambah 10 sampel	

Sumber : Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023

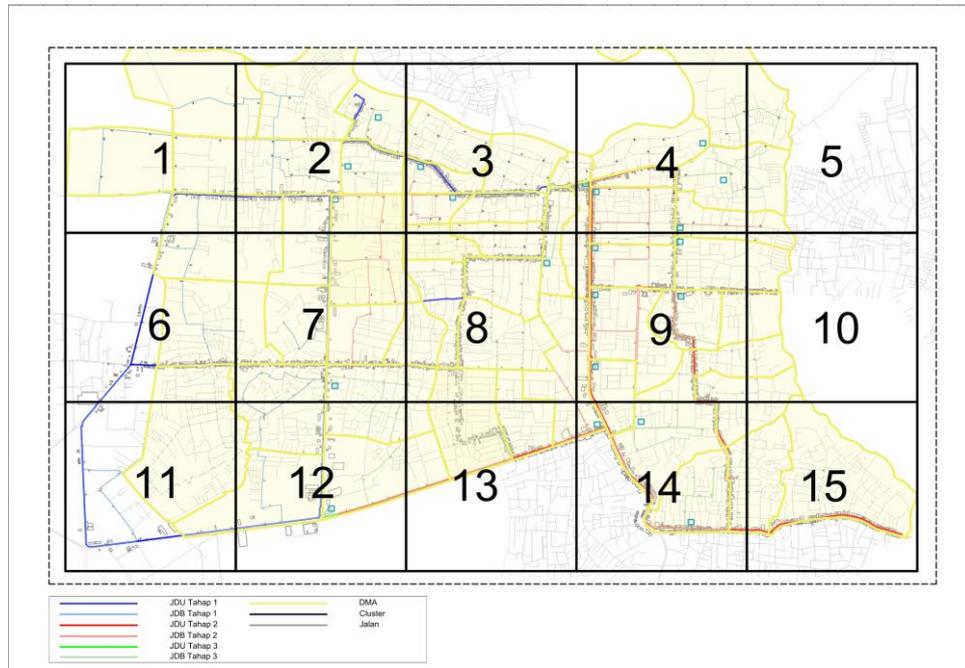
Pengambilan data sisa klor dilakukan pada Bulan Februari 2025. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 1 kali dengan mempertimbangkan jam puncak. Data jumlah sambungan rumah eksisting pada tahun 2023 sebanyak 9.798 pelanggan (Perumdam Tirta Siak Pekanbaru, 2024). Namun pada data pelanggan per-DMA yang diberikan hanya berjumlah 6.807 pelanggan. Kedua data tersebut dapat berbeda karena data pelanggan per-DMA hingga saat ini belum diperbarui. Oleh karena itu digunakan data sesuai dengan Buku Bisnis Plan dan ditetapkan terdapat 5 orang dalam satu sambungan rumah. Berdasarkan hal tersebut, maka penduduk yang dilayani berjumlah 48.990 jiwa. Berdasarkan Tabel 3.1 maka jumlah penduduk yang terlayani antara 5.000-100.000 dengan jumlah sampel 1 per 5.000 penduduk. Berikut perhitungan jumlah minimum sampel.

$$\frac{\text{jumlah penduduk}}{5.000} = \frac{48.990}{5.000} = 9,7 \text{ sampel}$$

Jumlah minimum sampel yang diperlukan dibulatkan yaitu sebanyak 10 sampel. Selanjutnya, untuk air minum jaringan perpipaan diperlukan pengambilan sampel pada unit produksi (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Oleh karena itu, total jumlah sampel yang diperlukan sebesar 11 sampel dengan pembagian 1 sampel pada unit produksi dan 10 sampel pada unit distribusi. Namun, jumlah sampel total yang diperlukan juga akan dikaitkan dengan jarak yang akan dibahas pada penentuan lokasi sampling.

- Penentuan lokasi sampling

Berdasarkan data jumlah penduduk tiap DMA pada Tabel 2.2, jumlah penduduk tiap DMA kurang dari 2.000 penduduk serta luas DMA yang terlalu kecil sehingga penurunan sisa klor belum terlihat signifikan, maka dilakukan pembagian kluster. Lokasi sampling pembagian kluster dapat dilakukan dengan membagi wilayah menjadi grid-grid dengan interval jarak tertentu (Afrianita et al., 2016). Interval jarak yang ditetapkan yaitu sebesar 2 Km, penetapan ini dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu yang disebutkan pada latar belakang yaitu penurunan sisa klor terlihat signifikan pada jarak 2-3 Km. Penetapan 2 Km ini juga dilakukan untuk meminimalisir jaringan perpipaan yang berbelok dalam satu kluster yang menyebabkan jarak pipa juga bertambah. Pembagian kluster bertujuan agar pengambilan sampel dapat lebih merata dan memperjelas lokasi pengambilan sampel sehingga data pengukuran yang didapatkan dapat mewakili kondisi di berbagai lokasi. Pembagian kluster dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pembagian Kluster Lokasi Pengambilan Sampel

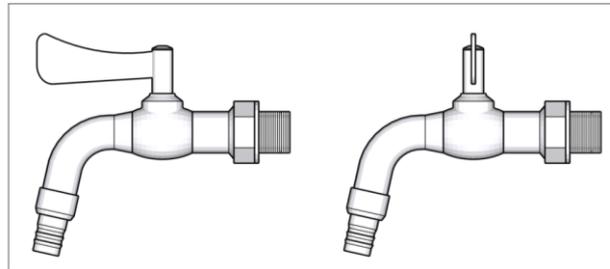
Pada tiap kluster dihitung jumlah penduduk sehingga dapat ditentukan jumlah sampel pada kluster tersebut. Dikarenakan terdapat perbedaan data dan data pelanggan per-DMA belum diperbarui dan untuk meningkatkan keakuratan jumlah sampel, maka pada kluster dengan jumlah penduduk >1.000 terdapat 2 sampel dan pada penduduk padat yang berjumlah >5.000 maka terdapat 3 sampel. Namun, ditemukan 2 kluster yang dikecualikan karena jumlah pelanggan yang terlalu sedikit. Berikut perhitungan jumlah penduduk serta jumlah sampel.

Tabel 3.2 Jumlah Pelanggan

Kluster	Jumlah penduduk	Jumlah sampel
1	877	1
2	3645	2
3	9626	3
4	4792	2
5	116	1
6	1074	2
7	2336	2
8	4506	2
9	3942	2
10	262	0
11	949	1
12	668	1
13	467	1
14	766	1
15	13	0
Total		23

Persyaratan lokasi pengambilan sampel mengacu pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 yaitu pengambilan sampel pada air minum jaringan perpipaan dilakukan pada unit produksi dan jaringan distribusi. Oleh karena itu, total lokasi sampling adalah 23 lokasi dengan pembagian 1 pada unit produksi dan 22 pada unit distribusi.

Pengambilan sampel dilakukan pada kran sambungan rumah. Titik pengambilan sampel untuk pengukuran tiap parameter kualitas air direkomendasikan mempunyai bentuk keran yang dapat dilihat Gambar 3.5 ((Badan Standarisasi Nasional, 2024).



Gambar 3.5 Bentuk Kran pada Lokasi Pengambilan Sampel

Sumber: RSNI3 7828:2024

Berikut kriteria yang harus dihindarkan pada kran pelanggan.

- a. Kran yang terhubung ataupun berdekatan dengan instalasi pengolahan air seperti tangki bertekanan, pompa dan tangki pelunakan;
- b. Kran yang memiliki ulir sehingga dapat dilepas
- c. Kran dengan jenis yang rumit untuk dilakukan aseptik dengan nyala ap;
- d. Kran yang terbungkalai atau tidak terawat;
- e. Kran yang kotor akibat kontaminasi dari pengotor;
- f. Kran yang tersedia di toilet;
- g. Kran yang tersedia pada tempat pembersih seperti alat pencuci piring dan sejenisnya;
- h. Kran yang berada pada tempat penyimpanan atau pada tempat penanganan bahan kimia;
- i. Kran yang sulit untuk dipasangi wadah contoh air di bawahnya (Badan Standarisasi Nasional, 2024).

3.3.5. Pengumpulan Data

Diperlukan data primer serta data sekunder pada penelitian ini. Data Primer yang diperlukan untuk melakukan studi ini ialah:

1. Sisa Klor Jaringan Distribusi

Sisa klor pada pelanggan diperlukan agar dapat dilakukan analisis dengan memanfaatkan *software* EPANET 2.2 dimana akan diketahui sebaran sisa klor dan jarak maksimal klor dapat dipertahankan dalam jaringan distribusi. Keberadaan sisa klor berfungsi untuk memastikan kualitas air memenuhi standar yang tercantum pada peraturan perundangan yang berlaku dan menganalisis sebarannya. Jumlah titik sampling yaitu 21 lokasi yang dapat dilihat pada sub bab 3.3.4.

Pengukuran dilakukan menggunakan alat portable dikarenakan pengukuran sisa klor harus dilakukan secara langsung di tempat pengambilan sampel air. Pengujian sampel dilakukan menggunakan metode DPD (Badan Standarisasi Nasional, 2006). Pengukuran sisa klor dilakukan dengan menggunakan HANNA Free Chlorin Checker. Berikut alat dan bahan dalam pengujian sisa klor secara *on site*.

- a. Alat
 - o 1 buah *Chlorine Meter Portable*
 - o 2 buah kuvet 10 mL
- b. Bahan
 - o 1 *sachet* reagen DPD (N,N–dietil– p–fenilendiamin sulfat)
 - o 10 mL air sampel
- c. Prosedur
 - 1) Persiapkan 2 buah kuvet yang sudah steril
 - 2) Isi kuvet pertama dengan air sampel sebanyak 10 mL sebagai blanko
 - 3) Isi kuvet kedua dengan air sampel yang sama
 - 4) Tambahkan reagen DPD pada kuvet kedua dan homogenkan
 - 5) Hidupkan alat ukur dan tunggu hingga terlihat tulisan “C1”
 - 6) Kuvet pertama kemudian dimasukkan dalam alat ukur
 - 7) Tekan tombol *power* hingga terlihat tulisan “C2”
 - 8) Kuvet pertama dikeluarkan
 - 9) Kuvet kedua yaitu kuvet dengan air sampel yang sudah ditambahkan reagen dimasukkan dalam alat ukur
 - 10) Tekan tombol *power* selama 3 detik hingga terlihat *timer* selama 1 menit
 - 11) Setelah timer selesai, dicatat kandungan klor yang terbaca pada alat ukur

Setelah pengujian selesai maka kuvet dicuci menggunakan aquades agar steril kembali dan siap untuk digunakan pada pengujian berikutnya.

2. Suhu

Data suhu merupakan data pengukuran temperatur yang diperlukan dalam menganalisis stabilitas sisa klor terhadap suhu pada jaringan distribusi air minum Perumdam Tirta Siak. Pengukuran temperatur menggunakan termometer digital atau termometer khusus air dengan pengukuran dilakukan secara langsung di lokasi pengambilan sampel konsentrasi klor. Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sama dengan pengukuran sisa klor.

3. pH

Data pH merupakan data yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaaan air di titik-titik distribusi yang diperlukan dalam menganalisis stabilitas sisa klor terhadap pH pada jaringan distribusi air minum Perumdam Tirta Siak. Data ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap stabilitas klor, karena pH yang terlalu tinggi atau rendah dapat memengaruhi efektivitas desinfeksi klor. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter portabel. Kalibrasi pH meter harus dilakukan sebelum pengukuran untuk memastikan akurasi data. Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sama dengan pengukuran sisa klor.

Pada penelitian ini juga diperlukan data sekunder untuk mendukung jalannya penelitian. Beberapa data Sekunder yang digunakan diuraikan pada Tabel 3.3.

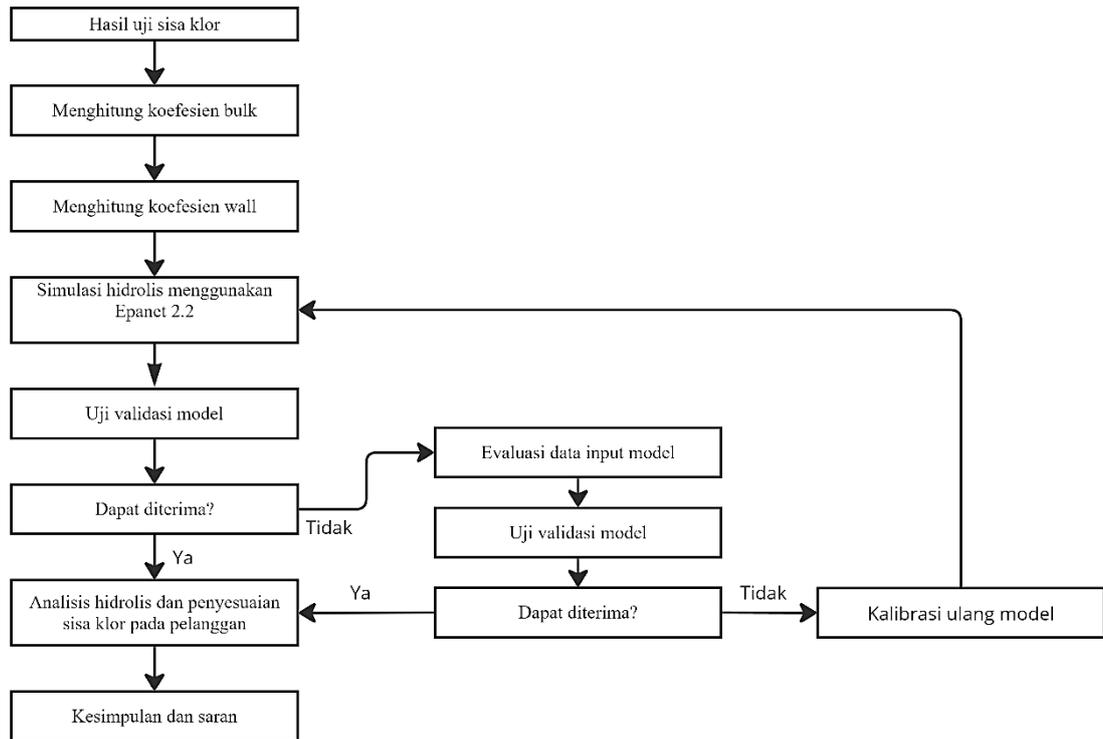
Tabel 3.3 Data Sekunder

No	Data sekunder	Cara mendapatkan	Jenis data	Fungsi data
1.	Kondisi eksisting sistem distribusi air minum pada zona 2	Mengajukan permintaan data ke PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang melaksanakan konstruksi	Berupa gambar dalam format CAD, KMZ, serta dalam bentuk tabel yang menampilkan	Data diperlukan untuk melakukan analisis sebaran sisa klor setelah dilakukan pengambilan sampel. Data tersebut yang kemudian dimasukkan dalam

	Perumdam Tirta Siak.	pembangunan jaringan distribusi zona 2.	diameter pipa, panjang pipa, lokasi titik tapping, lokasi valve, serta lokasi pompa atau tower yang digunakan.	EPANET 2.2 untuk analisis sebaran sisa klor.
2.	Kualitas air olahan IPAM Tirta Siak Tampan.	Mengajukan permintaan data ke PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang melakukan pengolahan air baku.	Berupa tabel dan atau surat hasil pengujian kualitas air olahan IPAM yang dilakukan secara berkala.	Data diperlukan untuk melakukan analisis sebaran sisa klor setelah dilakukan pengambilan sampel untuk mengetahui air olahan IPAM telah memenuhi standar yang ditetapkan sehingga dapat dipastikan bahwa klor telah berhasil mengoksidasi parameter organik dan pengotor lainnya.
3.	Proses desinfeksi yang dilakukan pada IPAM Tirta Siak Tampan.	Mengajukan permintaan data ke PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang melaksanakan konstruksi pembangunan jaringan distribusi zona 2.	Berupa angka, grafik, dan tabel dari penggunaan gas klor dan data terkait lainnya	Data diperlukan untuk mengetahui efektivitas desinfeksi pada IPAM.
4.	Debit pelanggan.	Mengajukan permintaan data ke PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang melaksanakan konstruksi pembangunan.	Berupa tabel data penggunaan air pada tiap DMA.	Data diperlukan untuk melengkapi simulasi hidrolis dengan EPANET 2.2.
5.	Kondisi tekanan pada titik terjauh, tengah, dan terdekat zona dari sumber air baku.	Mengajukan permintaan data ke PT. PP Tirta Madani selaku pihak yang melaksanakan konstruksi pembangunan jaringan distribusi zona 2.	Berupa peta maupun tabel yang menampilkan kondisi tekanan pada jaringan distribusi.	Data diperlukan untuk mengetahui kondisi tekanan dan melakukan perbandingan dengan EPANET 2.2.

3.3.6. Analisis dan Pembahasan

Analisis data serta pembahasan dapat disusun apabila seluruh data yang diperlukan telah didapatkan. Hasil analisis merupakan perhitungan yang disajikan ke dalam tabel, grafik, maupun gambar. Analisis data serta pembahasan dilakukan untuk membahas terkait sebaran kandungan sisa klor pada jaringan distribusi air minum, simulasi hidrolis menggunakan *software* EPANET 2.2, dan penyesuaian sisa klor pada pelanggan. Berikut diagram alir analisis data yang dilakukan.



Gambar 3.6 Diagram Alir Analisis dan Pembahasan

- Perhitungan koefisien *bulk* (K_b)

Pada penelitian dilakukan perhitungan koefisien *bulk*. Koefisien *bulk* (K_b) merupakan parameter yang menggambarkan laju peluruhan klorin dalam volume air bebas dari pengaruh dinding pipa. Perhitungan koefisien *bulk* menggunakan data yang didapat dari pengukuran klor di laboratorium. Nilai ini digunakan agar diketahui nilai penurunan konsentrasi klor bebas pada jaringan distribusi. Untuk menghitung K_b , dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran konsentrasi klorin pada interval waktu tertentu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Komala, 2023), maka digunakan interval waktu tiap 1 jam sekali selama 6 jam. Rumus yang digunakan pada perhitungan adalah.

$$C(t) = C_0 e^{-K_b t}$$

Keterangan:

- $C(t)$ = konsentrasi klorin pada waktu t
- C_0 = konsentrasi awal klorin
- k_b = *bulk decay coefficient*
- t = waktu

Selanjutnya, setelah didapat nilai konsentrasi klor bebas selama interval waktu 6 jam, dibuat grafik hubungan waktu (t) terhadap konsentrasi (Ct), kemudian Kb dapat dihitung sebagai gradien dari garis linear.

- Perhitungan koefisien *wall* (Kw)

Laju reaksi *wall* tidak dapat diukur secara langsung, maka dapat dilakukan kalibrasi dari data yang terkumpul dari studi lapangan kemudian dilakukan *trial and error* dengan memasukkan variasi nilai *Global Wall Coefficient* ke dalam program EPANET 2.2 untuk menetapkan nilai koefisien yang menghasilkan nilai validasi data yang paling baik. Berdasarkan penelitian terdahulu, nilai *Global Wall Coefficient* berada dalam rentang -0.25 hingga -1. Hal ini bergantung pada jenis pipa, Rentang -0.1 hingga -0.5 merujuk pada nilai koefisien gesekan untuk aliran turbulen pada pipa dengan permukaan kasar dan Rentang -0.1 hingga -1 berhubungan dengan koefisien gesekan yang lebih ekstrem, biasanya dalam kasus aliran dengan kecepatan tinggi atau material pipa yang sangat kasar. Cara mendapatkan koefisien reaksi *wall* yaitu :

1. Jalankan program EPANET 2.2
 2. Buka file simulasi hidrolis yang telah dilakukan
 3. Siapkan data pengukuran lapangan
 4. Masukkan nilai hasil sampling sisa klor (*Project – Calibration Data – Quality*)
 5. Masukkan nilai *Global Wall Coefficient*
 6. *Running* program
 7. Lihat hasil kalibrasi (*Report – Calibration - Quality*)
 8. Ulangi langkah no.5 dengan nilai *Global Wall Coefficient* yang berbeda dan catat nilai RMSE yang dihasilkan
 9. Pilih nilai *Global Wall Coefficient* dengan nilai RMSE terkecil
- Simulasi

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* EPANET 2.2 dalam melakukan analisis hidrolis dan pemodelan distribusi klor dalam jaringan distribusi air minum. Selanjutnya, pemodelan penurunan konsentrasi klor dilakukan untuk mensimulasikan perubahan kandungan klor dari titik injeksi hingga pelanggan, dengan mempertimbangkan faktor seperti suhu, pH, *bulk coefficient*, dan *wall coefficient*. Selanjutnya, hasil sebaran sisa klor berupa pemetaan sebaran sisa klor pada wilayah zona 2 Perumdam Tirta Siak.

- Uji validasi model

Pada penelitian ini, program EPANET 2.2 digunakan untuk melakukan simulasi hidrolis sehingga model harus dapat mendekati kondisi yang sebenarnya. Hasil simulasi EPANET kemudian dibandingkan dengan data lapangan melalui uji RMSE untuk mengetahui tingkat keakuratan pengukuran. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan program EPANET 2.2 dengan tahapan yaitu:

1. Buka program EPANET 2.2
2. Buka file simulasi hidrolis yang telah dilakukan
3. Siapkan data pengukuran lapangan
4. Masukkan nilai hasil sampling sisa klor (*Project – Calibration Data – Quality*)
5. *Running* program
6. Lihat hasil kalibrasi (*Report – Calibration - Quality*)

Nilai korelasi dapat dikatakan kuat apabila memiliki nilai 1 atau mendekati 1. Semakin kecil nilai RMSE yang didapat maka tingkat akurat suatu model semakin baik. (Rasyad et al., 2021). Langkah-langkah tersebut berkaitan dengan penentuan *Global Wall Coefficient*. Nilai *Global Wall Coefficient* yang dimasukkan ke dalam EPANET untuk dilakukan kalibrasi yaitu berkisar antara -0.1 hingga -1 dengan interval 0.1.

Apabila setelah dimasukkan nilai tersebut dan didapat nilai RMSE yang tidak baik maka dilakukan evaluasi data input dengan melakukan pemeriksaan ulang terhadap data input dan evaluasi debit pada pelanggan. Kemudian dilakukan uji validasi kembali dengan *global wall coefferisien* yang memiliki nilai RMSE terkecil yang didapat. Apabila nilai RMSE masih tidak diterima maka dilakukan kalibrasi ulang setelah data input diperbaiki dengan memasukkan ulang nilai variasi *global wall coefferisien*.

- Analisis dan Penyesuaian sisa klor

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan pola sebaran klor bebas pada jaringan distribusi. Hasil sebaran tersebut berupa titik-titik pada peta jaringan distribusi air minum yang menunjukkan konsentrasi klor bebas yang telah diambil sampelnya. Selanjutnya, dirumuskan solusi untuk menjaga konsentrasi klor sesuai standar, seperti penentuan lokasi reklorinasi pada titik-titik kritis. Titik kritis merupakan titik dimana klor bebas berada di bawah baku mutu. Pada titik reklorinasi akan digunakan dosing pump untuk menginjeksikan klor ke dalam jaringan distribusi air minum. Pada analisis ini juga dilakukan analisis hubungan sisa klor terhadap pH dan suhu untuk melengkapi analisis yang dilakukan serta untuk mengetahui apakah pH dan suhu memberikan pengaruh besar dalam penurunan sisa klor. Alternatif lain yang dipertimbangkan yaitu penambahan jumlah pembubuhan klor pada bangunan pengolahan air minum. Strategi ini bertujuan untuk memastikan distribusi klor yang merata dan kualitas air minum yang memenuhi ambang batas konsentrasi sesuai dengan baku mutu.

3.3.7. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dan saran dapat disusun berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan yang sudah diuraikan. Kesimpulan yang dirumuskan yaitu hasil studi mengenai sebaran sisa klor yang diidentifikasi pola distribusi dan kandungannya sesuai dengan ambang batas yang ditetapkan. Selanjutnya ringkasan mengenai hasil dari analisis menggunakan metode statistik mengenai tingkat kesalahan model EPANET 2.2 dibandingkan dengan data lapangan. Berdasarkan hasil analisis, disebutkan hasil strategi penyesuaian sisa klor pada jaringan distribusi agar kandungan sisa klor sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Sedangkan saran merupakan rekomendasi yang diberikan berdasarkan hasil evaluasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Desinfeksi IPAM Tirta Siak Tampan

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yang melayani wilayah zona 2 yaitu IPAM Tirta Siak Tampan yang berada di Kecamatan Payung Sekaki. Unit pengolahan yang digunakan pada IPAM ini yaitu unit koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi. Proses desinfeksi dilakukan sebanyak 2 kali dengan menggunakan gas klor yang diinjeksi sebelum unit filtrasi dan sebelum unit reservoir. Metode desinfeksi yang digunakan pada proses desinfeksi ini adalah klorinasi.

4.1.1. Hubungan Dosis dan Sisa Klor

Klor berperan sebagai desinfektan dalam proses klorinasi yang digunakan untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam air baku. Analisis proses klorinasi merupakan langkah penting dalam menjamin efektivitas proses desinfeksi. Selain itu, klor juga dapat mengoksidasi zat pengotor dalam air untuk meningkatkan kualitas air. Efek residual yang dimiliki oleh klor dapat berfungsi untuk melindungi air dari kontaminasi ulang baik setelah pengolahan maupun sepanjang sistem distribusi. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa klor harus tetap tersedia dalam konsentrasi tertentu hingga ke titik akhir distribusi untuk perlindungan dari kontaminasi mikroorganisme saat proses distribusi.

Penggunaan klor dalam proses desinfeksi harus dikendalikan secara optimal. Klorinasi menyebabkan terbentuknya produk samping desinfeksi atau *Chlorination By-Products* (CBP), seperti Trihalometana (THM) yang membahayakan kesehatan jika terakumulasi dalam jangka panjang. Produk ini terbentuk sebagai akibat dari reaksi senyawa klor dengan senyawa organik terkandung alamiah dalam air (Josopandojo & Purnomo, 2020). Namun, dosis yang terlalu rendah menyebabkan berkurangnya efektivitas desinfeksi dan meningkatkan risiko pertumbuhan kembali mikroorganisme. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk menentukan dosis klor yang optimum agar terdapat sisa klor yang cukup untuk membunuh mikroorganisme dan tidak membahayakan bagi kesehatan.

Analisis proses klorinasi ini dilakukan dengan fokus pada beberapa aspek yaitu:

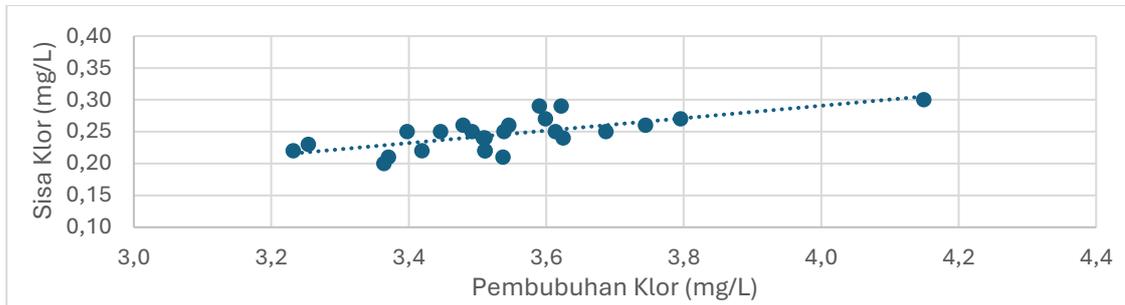
1. Pembubuhan klor pada bulan Januari – Agustus tahun 2024
2. Simulasi pembubuhan klor pada laboratorium untuk mengetahui sisa klor setelah reaksi selama 1 jam
3. Penyebab penurunan konsentrasi klor yang signifikan

Ketiga aspek tersebut dianalisis untuk memperoleh pengetahuan lebih mendalam terkait efektivitas pembubuhan klor, kestabilan sisa klor, serta faktor-faktor yang memengaruhi penurunan konsentrasi sisa klor.

Pembubuhan klorin dilakukan sebanyak 2 kali yaitu *Pre-Chlorination* yang dilakukan sebelum unit filtrasi dengan dosis tetap yaitu 2 mg/L dan pembubuhan kedua yaitu *Post-Chlorination* yang dilakukan pada reservoir dengan dosis bervariasi antara 1,2 - 1,8 mg/L. Namun, pada kondisi tertentu, dosis *Post-Chlorination* dapat kurang dari atau melebihi 1,2 – 1,8 mg/L. Dosis pembubuhan klor dapat bervariasi karena perubahan kualitas air sehingga dosis pembubuhan klor menyesuaikan kualitas air pada hari tersebut.

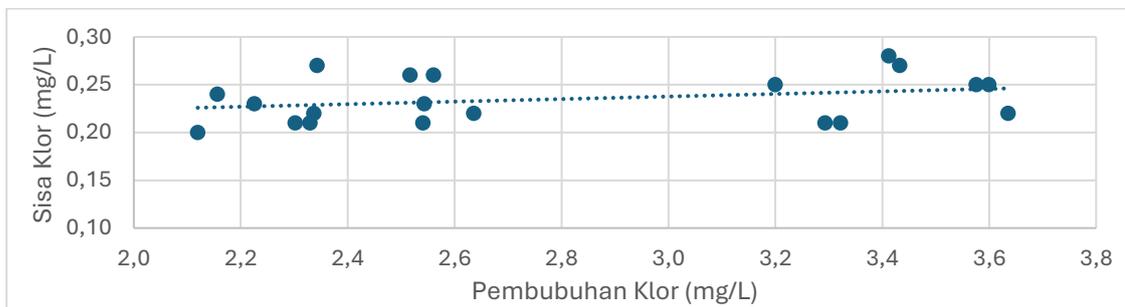
Analisis proses klorinasi dilakukan dengan menganalisis pembubuhan dosis klor yang dapat menghasilkan sisa klor sesuai dengan baku mutu. Analisis proses klorinasi dilakukan berdasarkan data pada Bulan Januari – Agustus tahun 2024. Pemilihan tersebut disesuaikan dengan ketersediaan data yang diperoleh. Adapun data Bulan September – Desember tidak tersedia sehingga tidak disertakan dalam analisis. Namun, data yang tersedia dianggap cukup representatif untuk memebrikan gambaran pola pembubuhan klor.

Grafik pembubuhan klor dan sisa klor pada *outlet* terdekat reservoir pada Bulan Januari – Agustus yang disajikan pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.8.



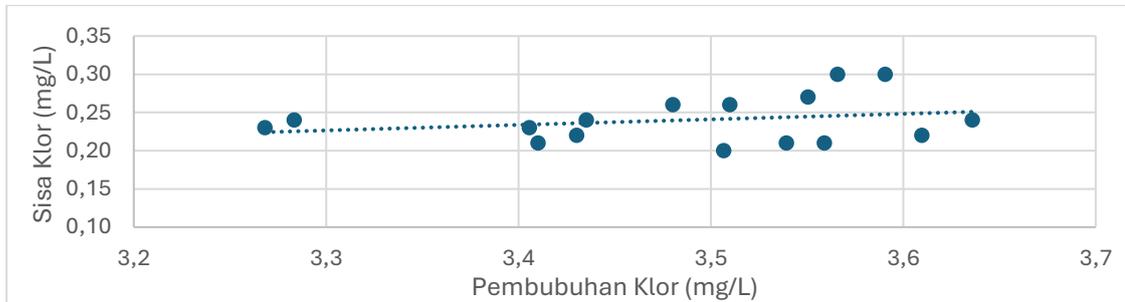
Gambar 4.1 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Januari 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



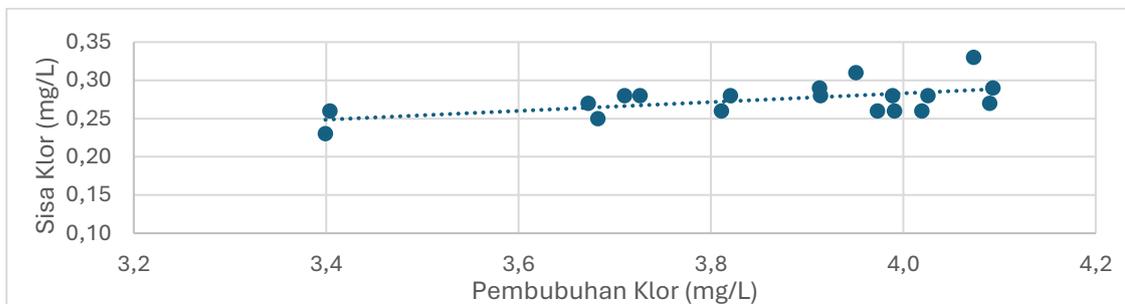
Gambar 4.2 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Februari 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



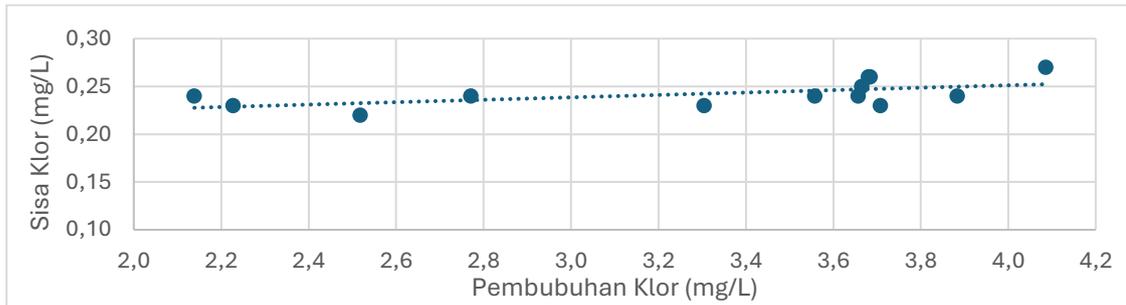
Gambar 4.3 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Maret 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



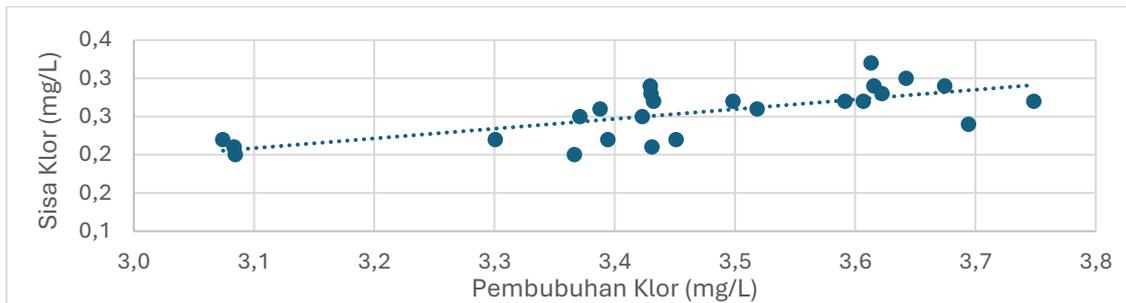
Gambar 4.4 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor April 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



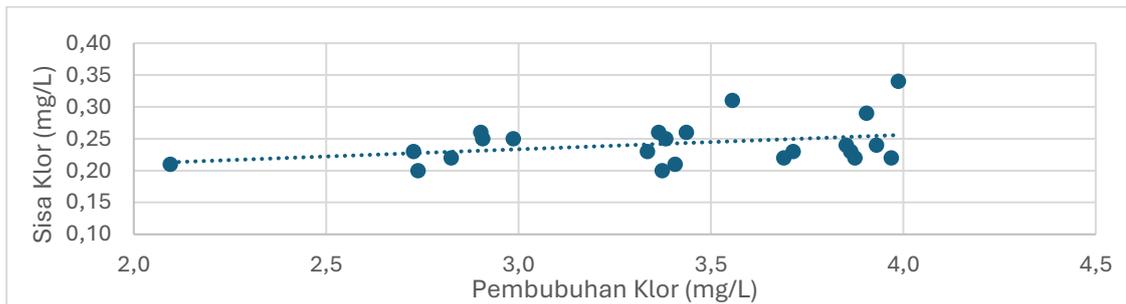
Gambar 4.5 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Mei 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



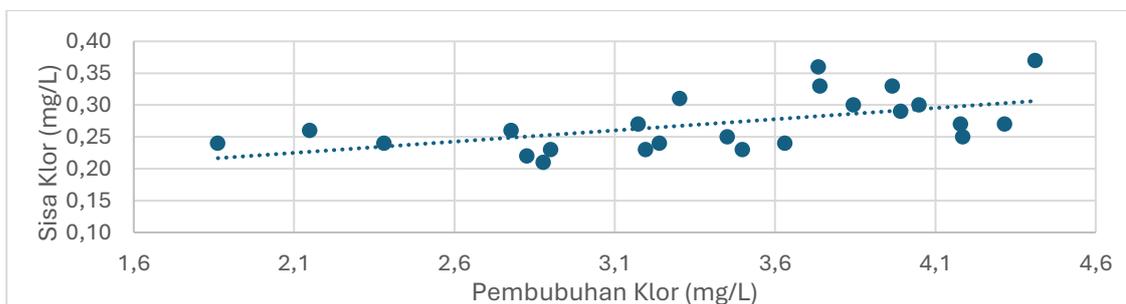
Gambar 4.6 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Juni 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



Gambar 4.7 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Juli 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani



Gambar 4.8 Hubungan Pembubuhan Klor dan Sisa Klor Agustus 2024

Sumber: PT PP Tirta Madani

Berdasarkan Gambar 4.1 – 4.8, dapat diketahui sisa klor yang dihasilkan dari pembubuhan klor yang dilakukan. Selanjutnya, hasil grafik disajikan dalam bentuk tabel. Berikut hasil rekapitulasi pembubuhan klor dan hasil sisa klor pada Bulan Januari – Agustus. Rekapitulasi analisis klor pada IPAM dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hubungan Pembubuhan klor dan Sisa Klor

Pembubuhan (mg/L)	Sisa Klor (mg/L)
2,0 - 2,2	0,20 - 0,25
2,2 - 2,4	0,20 - 0,25
2,4 - 2,6	0,20 - 0,25
2,6 - 2,8	0,20 - 0,25
2,8 - 3	0,20 - 0,25
3 - 3,2	0,20 - 0,25
3,2 - 3,4	0,20 - 0,25
3,4 - 3,6	0,20 - 0,30
3,6 - 3,8	0,25 - 0,35
3,8 - 4,0	0,25 - 0,40
4,0 - 4,2	0,25 - 0,40
4,2 - 4,4	0,25 - 0,40
4,4 - 4,6	0,25 - 0,40

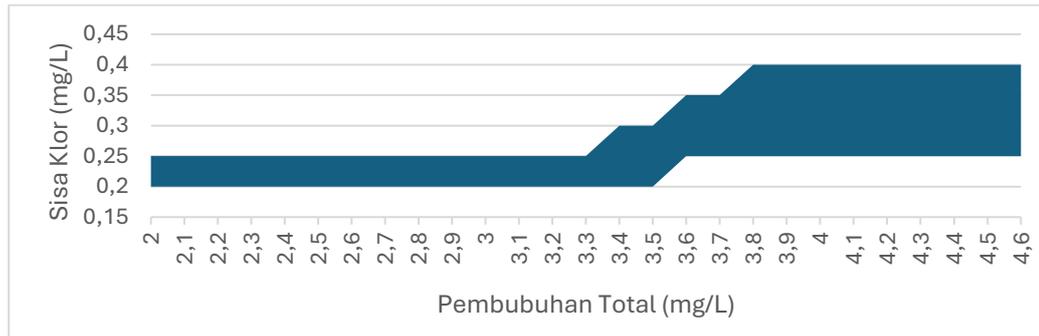
Sisa klor yang dihasilkan berdasarkan pembubuhan klor dengan dosis berdasarkan Tabel 4.1 telah memenuhi baku mutu. Namun, dosis pembubuhan klor masih dapat ditingkatkan agar sisa klor yang dihasilkan dapat lebih maksimal sehingga sisa klor dapat terdistribusi lebih jauh serta meningkatkan stabilitas sisa klor.

Pembubuhan klorin dilakukan sebanyak 2 kali yaitu *Pre-Chlorination* dan *Post-Chlorination*. Dosis pembubuhan *Pre-Chlorination* selalu tetap yaitu 2 mg/L sedangkan dosis pembubuhan *Post-Chlorination* bervariasi bergantung pada kualitas air. Berikut hasil rekapitulasi pembubuhan *Post-Chlorination* pada Bulan Januari – Agustus pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Dosis Post Klorinasi

Post Chlorination (mg/l)	Sisa Klor (mg/l)
0 - 0,2	0,20 - 0,25
0,2 - 0,4	0,20 - 0,25
0,4 - 0,6	0,20 - 0,25
0,6 - 0,8	0,20 - 0,25
0,8 - 1	0,20 - 0,25
1 - 1,2	0,20 - 0,25
1,2 - 1,4	0,20 - 0,25
1,4 - 1,6	0,20 - 0,30
1,6 - 1,8	0,25 - 0,35
1,8 - 2	0,25 - 0,40
2 - 2,2	0,25 - 0,35
2,2 - 2,4	0,25 - 0,40
2,4 - 2,6	0,25 - 0,40

Pembubuhan *Post-Chlorination* bervariasi bergantung pada kondisi air yang akan diolah. Dosis tertinggi berada pada 2,4 – 2,6 mg/L yang menghasilkan sisa klor sebesar 0,25 – 0,4 mg/L. Berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan, sisa klor tersebut telah memenuhi baku mutu. Dosis tersebut masih dapat ditingkatkan dengan tetap memperhatikan kualitas air yang telah melewati proses filtrasi agar pembubuhan dapat lebih optimal. Grafik pembubuhan klor dan hasil sisa klor pada Bulan Januari – Agustus dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Analisis Pembubuhan Klor

Analisis pembubuhan klor pada IPAM juga dilakukan dengan mempertimbangkan perbedaan kondisi musim, baik musim kemarau dan juga musim hujan. Periode dengan curah hujan tinggi yaitu pada bulan Januari hingga April serta kembali meningkat pada November dan Desember. Puncak curah hujan tercatat pada bulan November sebesar 476,4 mm dan banyaknya hari hujan yaitu sebanyak 24 hari. Sementara itu, curah hujan terendah yaitu saat bulan Juli sebesar 50,7 mm, menunjukkan kondisi musim kemarau yang relatif kering. Berdasarkan data tersebut, musim hujan dapat dikategorikan berlangsung pada Januari–April dan November–Desember, sedangkan musim kemarau terjadi pada Mei–September, dengan Mei dan Oktober sebagai periode transisi atau pancaroba (Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru, 2024).

Tabel 4.3 Analisis Musim dengan Pembubuhan Klor

Bulan	Pembubuhan Klor	Sisa Klor
Januari	3,2 - 3,8	0,2 - 0,3
Februari	2,0 - 3,6	0,2 - 0,3
Maret	3,2 - 3,6	0,2 - 0,3
April	3,4 - 4,2	0,2 - 0,3
Mei	2,0 - 4,0	0,2 - 0,4
Juni	3,0 - 3,8	0,2 - 0,35
Juli	2,0 - 4,0	0,2 - 0,35
Agustus	2,0 - 4,4	0,2 - 0,40

Musim Hujan
 Musim Kemarau

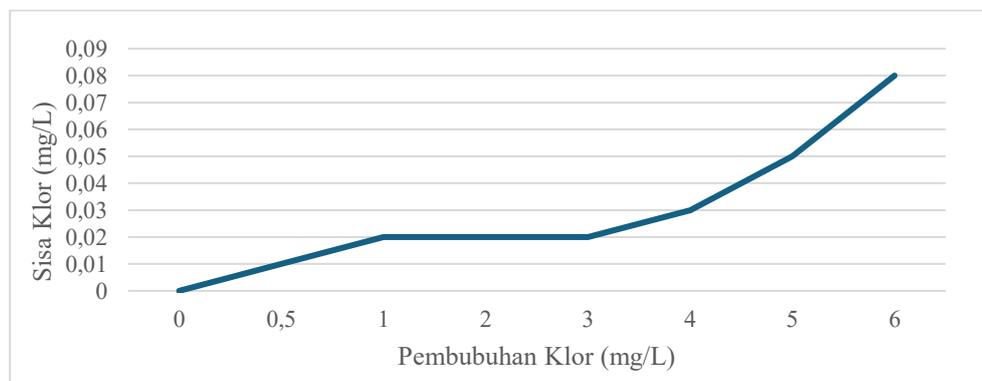
Berdasarkan data pembubuhan klor dan sisa klor dari bulan Januari hingga Agustus 2024, pada musim hujan yaitu Januari-April, dosis klor yang dibutuhkan cenderung lebih tinggi, dengan nilai berkisar antara 3,2 - 4,2 mg/L dengan sisa klor yang lebih rendah yaitu 0,2 – 0,3 mg/L. Hal ini menunjukkan tingginya beban bahan organik dan kontaminan pada musim hujan, yang menyebabkan konsumsi klor lebih besar selama proses desinfeksi. Sementara itu, pada musim kemarau meskipun pembubuhan klor tetap variatif, sisa klor cenderung berada dalam kisaran yang sedikit lebih tinggi, yakni hingga 0,40 mg/L.

Pada periode musim kemarau, pembubuhan klor dengan dosis 2 mg/L masih dapat menghasilkan konsentrasi klor yang sesuai dengan standar, yakni berada dalam kisaran 0,2–0,4 mg/L. Namun, pada musim hujan, dosis serupa tidak efektif untuk mempertahankan konsentrasi sisa klor dalam batas minimal yang disyaratkan, sehingga diperlukan peningkatan dosis klor untuk mengimbangi tingginya beban zat organik dan kontaminan dalam air baku. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas air baku pada musim kemarau relatif lebih stabil. Oleh karena

itu, terutama pada musim penghujan, diperlukan peningkatan dosis klor agar sisa klor yang dihasilkan lebih optimal.

Selanjutnya, dilakukan simulasi pembubuhan klor yang dilakukan di laboratorium PT. PP Tirta Madani. Simulasi yang dilakukan merupakan salah satu upaya untuk mengevaluasi efektivitas desinfeksi serta memahami stabilitas klor setelah bereaksi dengan kandungan dalam air. Praktikum dilakukan dengan menambahkan larutan yang berperan sebagai desinfektan ke dalam sampel air dalam beberapa variasi dosis yang kemudian dilakukan pengukuran kandungan sisa klor setelah didiamkan selama satu jam. Sampel air yang diambil yaitu sampel air setelah proses filtrasi, air ini telah melewati proses *Pre-Chlorination* sehingga dosis klor yang dianalisis adalah dosis pembubuhan klor untuk proses *Post-Chlorination*. Tujuan utama dari praktikum ini yaitu untuk mengetahui sejauh mana klor mampu bertahan dalam sistem setelah bereaksi dengan kandungan dalam air, serta mengamati kemungkinan terbentuknya titik *Breakpoint Chlorination* (BPC), yaitu titik di mana seluruh klor yang dibubuhkan telah bereaksi dengan zat pengotor dalam air.

Larutan yang digunakan dalam praktikum di laboratorium adalah larutan kaporit 1%, dengan senyawa aktif kalsium hipoklorit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Senyawa ini memiliki bentuk kimia berbeda dengan gas klorin (Cl_2), namun kaporit memiliki fungsi yang serupa sebagai agen desinfektan, karena melepaskan klor aktif ke dalam air dalam bentuk ion hipoklorit (ClO^-). Dalam kondisi larutan, ion hipoklorit akan membentuk asam hipoklorit (HOCl), yaitu senyawa utama yang berperan dalam proses desinfeksi. Asam hipoklorit merupakan bentuk klor yang paling efektif dalam membunuh mikroorganisme, terutama dalam rentang pH netral hingga sedikit asam. Oleh karena itu, penggunaan larutan kaporit 1% dalam praktikum ini tetap dapat merepresentasikan proses desinfeksi oleh klor secara umum, meskipun dengan karakteristik reaksi yang sedikit berbeda dibandingkan penggunaan gas klorin murni. Penggunaan larutan kaporit 1% ini juga didasarkan pada ketersediaan bahan dan kemudahan penggunaannya di laboratorium skala kecil. Berikut hasil dari simulasi pembubuhan klor pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Simulasi Penentuan Dosis Klor

Pembubuhan dengan dosis 0,5 - 2 mg/L, kandungan sisa klor yang terukur sangat rendah yaitu antara 0,01 - 0,02 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa klor yang dibubuhkan hampir seluruhnya bereaksi dengan senyawa dalam air. Pada pembubuhan 2 hingga 3 mg/L, terjadi sedikit peningkatan kandungan sisa klor hingga mencapai 0,05 mg/L, yang mengindikasikan adanya titik transisi, di mana sebagian kebutuhan reaksi mulai terpenuhi dan klor mulai tersisa. Selanjutnya, pada dosis 3 hingga 5 mg/L, sisa klor meningkat secara bertahap dan lebih terlihat yaitu 0,08 mg/L. Peningkatan ini menandai awal dari terbentuknya pola lonjakan sisa klor. Dengan demikian, titik BPC kemungkinan berada pada dosis yang lebih tinggi dari 3 mg/L. Grafik pada Gambar 4.10 tidak menunjukkan pola seperti Gambar 2.6 yaitu grafik BPC yang seharusnya. Hal ini dapat terjadi karena masih terdapat konsentrasi ammonia saat proses

desinfeksi yang menyebabkan klor masih mengoksidasi ammonia sehingga masih belum terbentuk klor bebas. Kemudian, kandungan zat organik yang terukur dengan permanganat juga dapat mengganggu stabilitas klorin. Selain itu, praktikum dilakukan menggunakan alat dengan tingkat ketelitian yang terbatas, sehingga hasil disajikan dalam bentuk rentang nilai dan dapat mengandung ketidakpastian. Meskipun demikian, tren peningkatan sisa klor pada dosis akhir dapat membantu dalam memperkirakan kebutuhan klor untuk desinfeksi yang efektif.

4.1.2. Efektivitas Pembubuhan Klor

IPAM Tirta Siak Tampan telah memproduksi air olahan yang siap minum dan dapat memenuhi kebutuhan air minum pada Zona 2. Namun, stabilitas sisa klor dipengaruhi oleh beberapa parameter pengotor dalam air. Oleh karena itu, dalam memahami stabilitas sisa klor, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi serta memahami faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas sisa klor. Kualitas air minum hasil olahan IPAM ini tercantum pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kualitas Air Minum pada Reservoir

Hasil Uji Januari 2025				
No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
I. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimia an-organik				
1	Fluorida	mg/L	0,085	1,5
2	Kromium total	mg/L	<0,028	0,05
3	Kadmium	mg/L	<0,001	0,003
4	Nitrit (sebagai NO ₂ -)	mg/L	<0,003	3
5	Nitrat (sebagai NO ₃ -)	mg/L	0,105	50
6	Sianida	mg/L	<0,004	0,07
II. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimiawi				
1	Aluminium	mg/L	<0,040	0,2
2	Besi	mg/L	<0,036	0,3
3	Kesadahan	mg/L	56	500
4	Klorida	mg/L	2	250
5	Mangan	mg/L	<0,012	0,4
6	Seng	mg/L	<0,026	3
7	Sulfat	mg/L	7,33	250
8	Tembaga	mg/L	<0,004	2
9	Ammonia	mg/L	0,077	1,5
10	Organik (KmnO ₄)	mg/L	1,9	-
Hasil Uji Februari 2025				
No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
I. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimia an-organik				
1	Fluorida	mg/L	0,105	1,5
2	Kromium total	mg/L	<0,028	0,05
3	Kadmium	mg/L	<0,001	0,003
4	Nitrit (sebagai NO ₂ -)	mg/L	<0,004	3
5	Nitrat (sebagai NO ₃ -)	mg/L	0,1	50
6	Sianida	mg/L	<0,004	0,07

II. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimiawi				
1	Aluminium	mg/L	<0,040	0,2
2	Besi	mg/L	<0,036	0,3
3	Kesadahan	mg/L	56	500
4	Klorida	mg/L	20,9	250
5	Mangan	mg/L	0,019	0,4
6	Seng	mg/L	0,027	3
7	Sulfat	mg/L	7,57	250
8	Tembaga	mg/L	<0,004	2
9	Ammonia	mg/L	0,089	1,5
10	Organik (KmnO ₄)	mg/L	2,84	-
Hasil Uji Maret 2025				
No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
I. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimia an-organik				
1	Fluorida	mg/L	0,1	1,5
2	Kromium total	mg/L	<0,028	0,05
3	Kadmium	mg/L	<0,001	0,003
4	Nitrit (sebagai NO ₂ -)	mg/L	<0,004	3
5	Nitrat (sebagai NO ₃ -)	mg/L	0,112	50
6	Sianida	mg/L	<0,004	0,07
II. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
b. Kimiawi				
1	Aluminium	mg/L	0,113	0,2
2	Besi	mg/L	0,09	0,3
3	Kesadahan	mg/L	45	500
4	Klorida	mg/L	2,55	250
5	Mangan	mg/L	0,025	0,4
6	Seng	mg/L	0,029	3
7	Sulfat	mg/L	5,76	250
8	Tembaga	mg/L	<0,004	2
9	Ammonia	mg/L	0,079	1,5
10	Organik (KmnO ₄)	mg/L	2,15	-

Sumber: PT PP Tirta Madani

Berdasarkan data kualitas air minum pada reservoir, diketahui terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi stabilitas sisa klor. Parameter yang dapat mempengaruhi stabilitas sisa klor yaitu ammonia, besi, mangan, nitrit, dan senyawa organik yang diuji oleh (KmnO₄). Sisa klor dapat mengoksidasi parameter tersebut yang dapat menyebabkan sisa klor habis dalam waktu singkat. Reaksi oksidasi ini dapat berlangsung dalam reservoir maupun pada jaringan distribusi. Parameter yang berhubungan terhadap konsentrasi sisa klor antara lain zat organik, ammonia, besi, mangan, nitrit, dan nitrat. Berikut analisis pengaruh parameter yang berhubungan langsung dengan stabilitas sisa klor.

- Bahan Organik

Natural organic matter (NOM) termasuk dalam senyawa organik yang secara alami terdapat dalam air yang berasal dari pelapukan tumbuhan, hewan, serta aktivitas

mikroorganisme, dan umumnya ditemukan dalam air permukaan. Keberadaan NOM di air minum menjadi perhatian karena dapat bereaksi dengan klor bebas selama proses disinfeksi serta membentuk produk sampingan disinfeksi seperti trihalometan dan asam haloasetat yang bersifat karsinogenik. Salah satu pendekatan yang umumnya digunakan untuk mengindikasikan keberadaan senyawa ini adalah melalui pengujian permanganat (KMnO_4). Uji ini tidak mengukur keseluruhan komponen NOM, namun mampu merepresentasikan sebagian fraksi organik terlarut yang bersifat reaktif terhadap oksidator (Chen et al., 2023).

Kualitas air minum pada Bulan Februari saat pengambilan sampel pengukuran koefisien *bulk* menunjukkan bahwa hasil pengujian KMnO_4 memiliki konsentrasi sebesar 2,84 mg/L. Pada Bulan Januari dan Maret yaitu 2 bulan terdekat, menunjukkan hasil pengujian KMnO_4 mempunyai nilai berturut turut sebesar 1,9 mg/L dan 2,15 mg/L. Melalui data yang sudah diperoleh, dapat diketahui nilai pengujian zat organik pada pengujian KMnO_4 yaitu ± 2 mg/L.

- Kandungan ion logam dan senyawa lainnya

Ion logam berperan dalam menurunkan konsentrasi residu klor dalam air minum. Ion logam seperti besi (Fe^{2+}), mangan (Mn^{2+}), serta senyawa-senyawa seperti nitrit (NO_2^-) dan ammonia (NH_3) dapat bereaksi dengan klor bebas, yang menyebabkan berkurangnya klor sebelum dapat menjalankan fungsinya sebagai disinfektan. Proses ini termasuk ke dalam reaksi redoks, di mana klor bertindak sebagai oksidator yang akan tereduksi dalam kontakannya dengan zat-zat tersebut. Klor (Cl_2) mengalami reduksi menjadi ion klorida (Cl^-), sedangkan logam-logam seperti besi dan mangan yang terdapat dalam pipa mengalami oksidasi (Rosmiati et al., 2023). Oleh karena itu, perlu diketahui bagaimana reaktivitas klor terhadap ion logam dan senyawa reduktif lain untuk menjelaskan hilangnya sisa klor dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini juga bertujuan agar sisa klor dalam air lebih stabil sehingga tidak hilang dalam waktu singkat dan dapat menjangkau area-area yang jauh atau titik kritis.

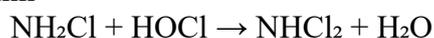
Hasil pengujian kualitas air minum pada reservoir yang terdapat pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa kualitas air minum yang dihasilkan sudah baik dan tidak terdapat parameter yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan pengujian kualitas air Tabel 4.4, maka dapat diketahui penyebab hilangnya sisa klor selain adanya zat organik. Beberapa parameter yang berpengaruh kuat terhadap penurunan klor yaitu ammonia, nitrit, besi, dan kesadahan. Pada parameter lainnya tidak signifikan menurunkan sisa klor dan tidak berpengaruh langsung terhadap penurunan sisa klor.

Pada proses pengolahan air, reaksi ammonia dan klorin menghasilkan senyawa kloramin, yang meliputi monokloramin (NH_2Cl), dikloramin (NHCl_2), dan trikloramin (NCl_3). Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

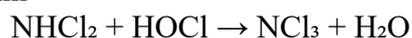
- a. Pembentukan monokloramin



- b. Pembentukan dikloramin



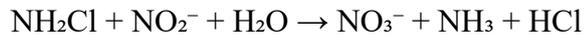
- c. Pembentukan trikloramin



Pada kondisi pH netral hingga basa, ammonia bereaksi dengan asam hipoklorit (HOCl) untuk membentuk monokloramin yang memiliki sifat lebih stabil serta dapat mempertahankan residu aktif dalam jaringan distribusi air lebih lama. Namun, peningkatan dosis klorin serta turunnya pH, monokloramin akan bertransformasi menjadi dikloramin. Selanjutnya, pada pH yang lebih rendah, reaksi yang terjadi yaitu terbentuknya senyawa trikloramin. Senyawa trikloramin mempunyai bau menyengat dan potensi toksik yang lebih besar (Zhang et al., 2022). Apabila klorin ditambahkan dalam jumlah yang cukup untuk melampaui konsentrasi ammonia, ammonia akan teroksidasi sepenuhnya, dan kloramin yang terbentuk akan terurai menjadi nitrogen gas, senyawa nitrogen oksida, serta produk oksidasi lainnya (Zhang et al., 2018). Zona

ini adalah zona *breakpoint chlorination*, yang ditandai dengan klorin bebas mulai muncul. Pada zona ini mengindikasikan bahwa ammonia telah sepenuhnya bereaksi.

Reaksi antara klor dengan nitrit juga merupakan reaksi redoks dimana klor juga berperan sebagai oksidator yang mengoksidasi ion nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-) dan klor direduksi menjadi ion klorida (Cl^-). Nitrit juga dapat bereaksi dengan kloramin. Nitrit bereaksi dengan monokloramin (NH_2Cl) melalui reaksi kimia ((Badawy et al., 2025). Berikut reaksi yang terjadi:



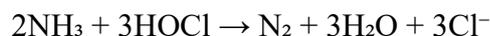
Pada reaksi ini terjadi siklus reaksi yang saling berkaitan antara kloramin, nitrit, dan ammonia yang secara tidak langsung akan menghabiskan klor bebas dalam air. Laju reaksi bergantung pada pH, konsentrasi nitrit, dan konsentrasi klor. Reaksi nitrit dengan klor biasanya signifikan apabila kandungan nitrit sebesar $>0,05$ mg/L.

Pada IPAM Tirta Siak Tampan, konsentrasi nitrit pada reservoir IPAM Tampan dengan pengujian pada Januari – Maret 2025 sebesar $\pm 0,004$ mg/L. Kandungan nitrit dinilai cukup rendah sehingga tidak signifikan menyebabkan hilangnya sisa klor secara kimiawi melalui reaksi nitrit dengan klor bebas. Oleh karena itu, penurunan sisa klor di reservoir lebih mungkin dipengaruhi oleh reaksi klor dengan parameter lainnya.

Dalam proses desinfeksi, ion logam lainnya yang dapat bereaksi dengan klor yaitu ion Fe^{2+} dan Mn^{2+} . Reaksi ini dapat mengurangi konsentrasi klor bebas. Semakin tinggi konsentrasi Fe^{2+} dan Mn^{2+} , semakin besar dosis dan waktu kontak klor yang dibutuhkan (Putu dan Ajeng, 2014). Namun, pada IPAM Tirta Siak Tampan, konsentrasi besi dan mangan pada air minum IPAM Tampan dengan pengujian pada Januari – Maret 2025 berturut-turut sebesar $\pm 0,03$ mg/L dan $\pm 0,0015$ mg/L. Berdasarkan konsentrasi cukup rendah tersebut, pengaruh Fe^{2+} dan Mn^{2+} terhadap efektivitas proses desinfeksi dapat dianggap tidak signifikan.

Pada analisis penyebab penurunan klor oleh ion logam dan senyawa lainnya ini, dapat diketahui bahwa pada penelitian ini ammonia berperan penting dalam penyebab hilangnya sisa klor secara signifikan. Konsentrasi ammonia pada $\pm 0,08$ mg/L dapat mengganggu stabilitas klor. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan reaksi secara stoikiometri untuk memperkirakan dosis klor yang perlu ditambahkan agar ammonia dapat teroksidasi sepenuhnya.

Perbandingan berat Cl_2 terhadap $\text{NH}_4^+\text{-N}$ adalah 7,6 (Metcalf & Eddy, 2014). Berdasarkan cara perhitungan yang sama maka dapat diketahui perbandingan berat Cl_2 dengan NH_3 . Berikut reaksi yang terjadi serta perhitungannya.



Berat molar:

$$\text{NH}_3 = 17,03 \text{ g (N=14,0067g, H=1,00794g)}$$

$$\text{HOCl} = 52,46 \text{ g (H=1,00794g, O=16g, Cl=35,45)}$$

Rasio Perbandingan berat Cl_2 terhadap NH_3

$$\frac{3\text{Cl}_2}{2\text{NH}_3} = \frac{212,7 \text{ g}}{34,6 \text{ g}} = 6,14$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat dilakukan perhitungan kebutuhan tambahan Cl_2 dengan konsentrasi ammonia 0,08 mg/L. Berikut perhitungan kebutuhan tambahan Cl_2 .

$$\text{Cl}_2 = 6,14 \times \text{Konsentrasi NH}_3$$

$$\text{Cl}_2 = 6,14 \times 0,08 \text{ mg/L}$$

$$\text{Cl}_2 = 0,5 \text{ mg/L}$$

Sesuai perhitungan yang dilakukan, maka masih dapat dilakukan penambahan Cl₂ sebesar 0,5 mg/L. Berdasarkan data kualitas air pada Bulan Februari pada Gambar 4.4, sisa klor pada reservoir sebesar 0,22 mg/L dan konsentrasi ammonia 0,089 mg/L, maka sisa klor tersebut akan habis untuk mengoksidasi ammonia serta zat organik yang tersisa. Hasil pengujian kualitas air minum pada reservoir tersebut menyatakan kualitas air minum yang dihasilkan sudah cukup baik dan tidak terdapat parameter yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan pengujian kualitas air diatas maka dapat diketahui penyebab hilangnya sisa klor selain adanya zat organik. Beberapa parameter yang berpengaruh kuat terhadap penurunan klor yaitu ammonia, nitrit, besi, dan kesadahan. Pada parameter lainnya tidak signifikan menurunkan sisa klor dan tidak berpengaruh langsung terhadap penurunan sisa klor.

4.2. Pemantauan Kualitas Air Pelanggan

Pemantauan kualitas air yang diterima pelanggan penting dalam mengetahui apakah kualitas air yang diterima pelanggan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Parameter utama yang diukur pada studi ini adalah sisa klor. Selain itu, pengukuran terhadap pH dan suhu juga dilakukan untuk mengetahui hubungan pH dan suhu terhadap konsentrasi sisa klor.

4.2.1. Distribusi Pelanggan

Berdasarkan data sambungan rumah (SR) yang tersedia, terdapat beberapa DMA yang sama sekali belum memiliki pelanggan. Pada umumnya, tiap DMA telah memiliki jumlah sambungan rumah, menandakan bahwa jaringan perpipaan sudah tersedia, meskipun sebagian besar masih menggunakan pipa lama. Saat ini, sedang dilakukan pengembangan dan penggantian jaringan perpipaan secara bertahap. Saat ini, tahap pengembangan sudah berjalan hingga tahap 3 dan masih akan dilanjutkan menuju tahap berikutnya. Berikut tahap pengembangan jaringan yang dilakukan.

Tabel 4.5 Rencana Tahapan JDB dan JDL

REALISASI						PERENCANAAN		PENGANGGARAN			
TAHAP 1 (2021-2022)		TAHAP 2 (2023)		TAHAP 3 (2024)		TAHAP 4 (2025)		TAHAP 5 (2026)		TAHAP 6 (2027)	TAHAP 7 (2028)
JDB	JDL	JDB	JDL	JDB	JDL	JDB	JDL	JDB	JDL	JDL	JDL
DMA 109	DMA 109	DMA 119	DMA 119	DMA 106	DMA 106	DMA 122	DMA 122	DMA 140	DMA 140	DMA 104	DMA 120
DMA 111	DMA 111	DMA 129	DMA 129	DMA 132	DMA 132	DMA 124	DMA 124	DMA 116	DMA 138	DMA 112	DMA 141
DMA 114	DMA 114	DMA 134	DMA 134	DMA 133	DMA 133	DMA 125	DMA 125	DMA 139	DMA 139	DMA 115	DMA 142
DMA 102	DMA 113	DMA 143	DMA 143	DMA 135	DMA 135	DMA 126	DMA 126	DMA 151	DMA 108	DMA 116	DMA 151
DMA 103	DMA 153	DMA 146	DMA 146	DMA 145	DMA 145	DMA 127	DMA 127	DMA 152	DMA 147	DMA 131	DMA 152
DMA 104	DMA 154	DMA 107	DMA 102	DMA 101	DMA 121	DMA 128	DMA 128	DMA 153	DMA 148		
DMA 105	DMA 149	DMA 144		DMA 136	DMA 123	DMA 130	DMA 130	DMA 154	DMA 118		
DMA 108		DMA 147		DMA 142	DMA 107	DMA 137	DMA 137	DMA 113	DMA 101		
DMA 110		DMA 149		DMA 148	DMA 144	DMA 131	DMA 117	DMA 120	DMA 103		
DMA 112		DMA 121		DMA 117		DMA 138	DMA 105	DMA 141	DMA 150		
DMA 115		DMA 123		DMA 118		DMA 150	DMA 110				
							DMA 136				
11	7	11	6	11	9	11	12	10	10	5	5
s.d Tahap 1 JDB = 11 DMA JDL = 7 DMA		s.d Tahap 2 JDB = 22 DMA JDL = 13 DMA		s.d Tahap 3 JDB = 33 DMA JDL = 22 DMA		s.d Tahap 4 JDB = 44 DMA JDL = 34 DMA JDB-JDL= 33 DMA		s.d Tahap 5 JDB = 54 DMA JDL = 44 DMA	s.d Tahap 6 JDB = 54 DMA JDL = 49 DMA	s.d Tahap 7 JDB = 54 DMA JDL = 54 DMA	

Sumber: Perumdam Tirta Siak

Jaringan perpipaan lama tetap dapat menyuplai air minum hingga pelanggan meskipun terdapat keterbatasan kapasitas dan risiko kebocoran yang lebih tinggi dibandingkan pipa baru. Dengan demikian, studi sisa klor tetap dilakukan termasuk pada jaringan yang belum diganti namun memiliki pelanggan aktif. Berdasarkan hasil evaluasi, terdapat DMA yang memiliki jumlah sambungan rumah namun debit aliran air tercatat rendah. Salah satu penyebab utamanya adalah banyaknya pelanggan yang sudah terpasang sambungan namun masih menggunakan sumur bor. Oleh karena itu, studi tidak hanya berfokus pada jumlah SR, tetapi juga harus mempertimbangkan tingkat aktivitas pelanggan pada tiap DMA.

Keberadaan sambungan rumah tanpa aktivitas pemakaian air yang signifikan juga berdampak terhadap laju aliran dalam jaringan distribusi. Aliran air yang minim pada pipa dapat menyebabkan terjadinya stagnasi sehingga sisa klor tidak terdistribusi secara normal. Selain itu, aliran air yang minim juga memperbesar peluang sedimentasi dalam jaringan yang dapat menurunkan kualitas air.

Studi kandungan sisa klor ini difokuskan pada kondisi eksisting jaringan distribusi pada DMA yang telah memiliki pelanggan aktif. Berikut debit tiap DMA sesuai yang tertera pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kebutuhan Air pada Zona 2

DMA	Demand total						
101	1,12	116	-	131	0,28	146	0,57
102	0,75	117	0,23	132	0,17	147	0,53
103	0,32	118	0,09	133	0,00	148	0,34
104	-	119	1,00	134	0,23	149	0,42
105	0,70	120	0,13	135	0,46	150	0,04
106	0,95	121	2,11	136	0,13	151	0,34
107	1,40	122	2,45	137	0,21	152	0,15
108	0,02	123	1,83	138	0,08	153	0,72
109	1,11	124	0,74	139	0,03	154	0,20
110	1,89	125	0,39	140	0,01		
111	3,89	126	1,58	141	-		
112	0,00	127	1,25	142	0,18		
113	1,02	128	0,36	143	2,22		
114	2,11	129	10,00	144	1,89		
115	0,26	130	1,51	145	0,66		

Sumber: Perumdam Tirta Siak

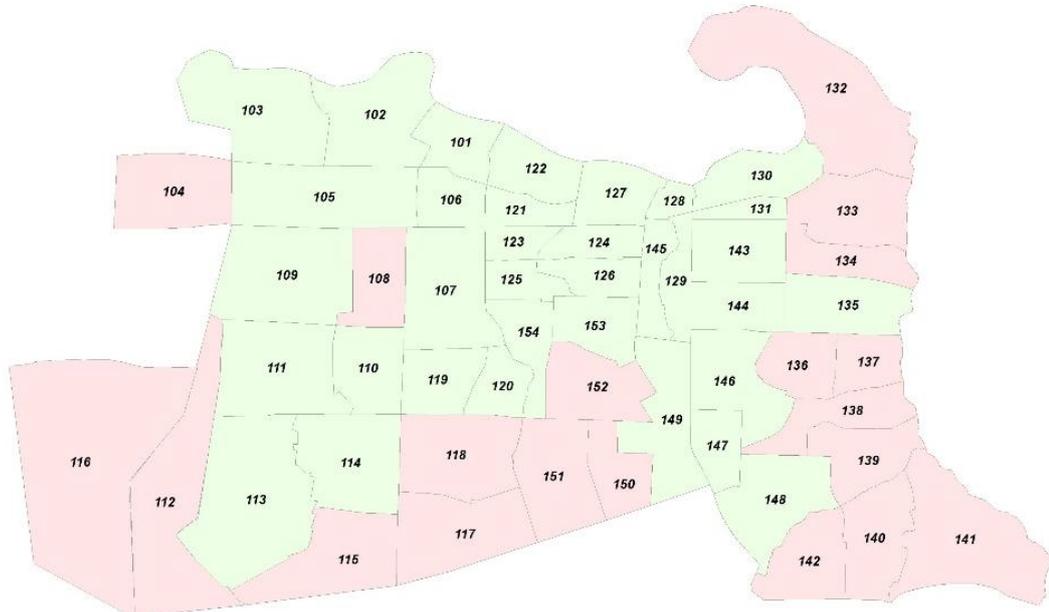
Berdasarkan data kebutuhan air tersebut, terdapat DMA yang tidak memiliki kebutuhan air dikarenakan belum terdapatnya pelanggan aktif. Selain itu, terdapat DMA dengan pelanggan aktif dengan jumlah yang sangat sedikit ditandai dengan kebutuhan air yang sangat kecil.

4.2.2. Wilayah Analisis dan Kondisi Tekanan

Pengukuran sisa klor dilakukan di seluruh DMA, namun analisis lebih lanjut untuk penyesuaian sisa klor dilakukan pada wilayah analisis yang mencakup DMA yang telah memiliki Jaringan Distribusi Pelayanan (JDL) hingga tahap 4. Dalam cakupan tersebut, ditemukan lima DMA yang dikecualikan dari analisis lebih lanjut dikarenakan kondisi hidrolis yang tidak memungkinkan. Terdapat satu DMA yang tidak memiliki *demand* karena belum memiliki pelanggan aktif. Sementara itu, empat DMA lainnya mempunyai 3-4 titik *tapping* dengan *demand* total yang kecil berkisar 0,1 – 0,2 L/s, maka 1 titik *tapping* hanya sekitar 0,07 L/s. Jumlah *demand* yang sangat kecil ini berdampak pada kecepatan alir dimana akan menyebabkan *water age* yang tinggi dikarenakan aliran air mendekati stagnan. Hal ini menyebabkan sisa klor tidak dapat bertahan dan menjangkau titik ujung jaringan. Kondisi ini menyebabkan upaya penyesuaian sisa klor tidak efektif dan tidak dapat mencapai kondisi ideal.

Wilayah yang termasuk dalam cakupan analisis dipastikan memiliki kandungan sisa klor yang diukur pada pelanggan memenuhi baku mutu yang tercantum pada Permenkes No. 2 Tahun 2023. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa kualitas air distribusi tetap aman dan layak untuk dikonsumsi. Kandungan sisa klor juga dijaga agar tidak melebihi baku mutu yang

dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada masyarakat. Oleh karena itu, berikut lokasi DMA yang termasuk dalam cakupan wilayah perencanaan penyesuaian sisa klor pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pemetaan DMA dengan pelanggan Aktif

Berdasarkan Gambar 4.11, DMA dengan warna hijau merupakan wilayah yang dilakukan penyesuaian sisa klor pada studi ini. Pada wilayah yang berwarna merah belum dilakukan penyesuaian sisa klor dikarenakan berada pada tahap 5 untuk rencana JDB dan JDL sehingga hanya memiliki sedikit pelanggan. Data tekanan yang tersebar pada zona 2 disebutkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Tekanan Eksisting

No	Tanggal	Jam	Koordinat (E) (X)	Koordinat (N) (Y)	Pressure (Bar)	Pressure IPA (Bar)	Dokumentasi
1	03/04/2025	17:12	769518,540	59830,940	1,03	1,9	
2	25/2/2025	18:55	772893,410	55912,340	1,24	2	
3	03/07/2025	15:47	769955,154	55606,009	0,5	2	

No	Tanggal	Jam	Koordinat (E) (X)	Koordinat (N) (Y)	Pressure (Bar)	Pressure IPA (Bar)	Dokumentasi
4	03/08/2025	13:50	772392,781	59358,254	0,9	1,3	
5	03/12/2025	11:28	769327,773	59202,227	1,2	2	

Sumber: Perumdam Tirta Siak

Tekanan pada zona 2 ini termasuk cukup baik yaitu sebesar 0,5 – 1 bar yang diukur di beberapa lokasi. Data tekanan ini digunakan untuk validasi terhadap model EPANET yang akan digunakan.

4.2.3. Sisa Klor, Suhu, dan pH

Pengujian konsentrasi sisa klor dilakukan secara *on-site* dengan alamat pengambilan sampel diperoleh dari Perumdam Tirta Siak. Sebelum dilakukan pengambilan sampel, dilakukan survei secara langsung berdasarkan alamat yang telah diberikan Perumdam Tirta Siak yang bertujuan memastikan ketersediaan pemilik rumah dan memastikan terdapat kran yang tersambung langsung dengan meter air. Dokumentasi saat survei dan wawancara dengan pemilik rumah dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Dokumentasi Survei Pelanggan

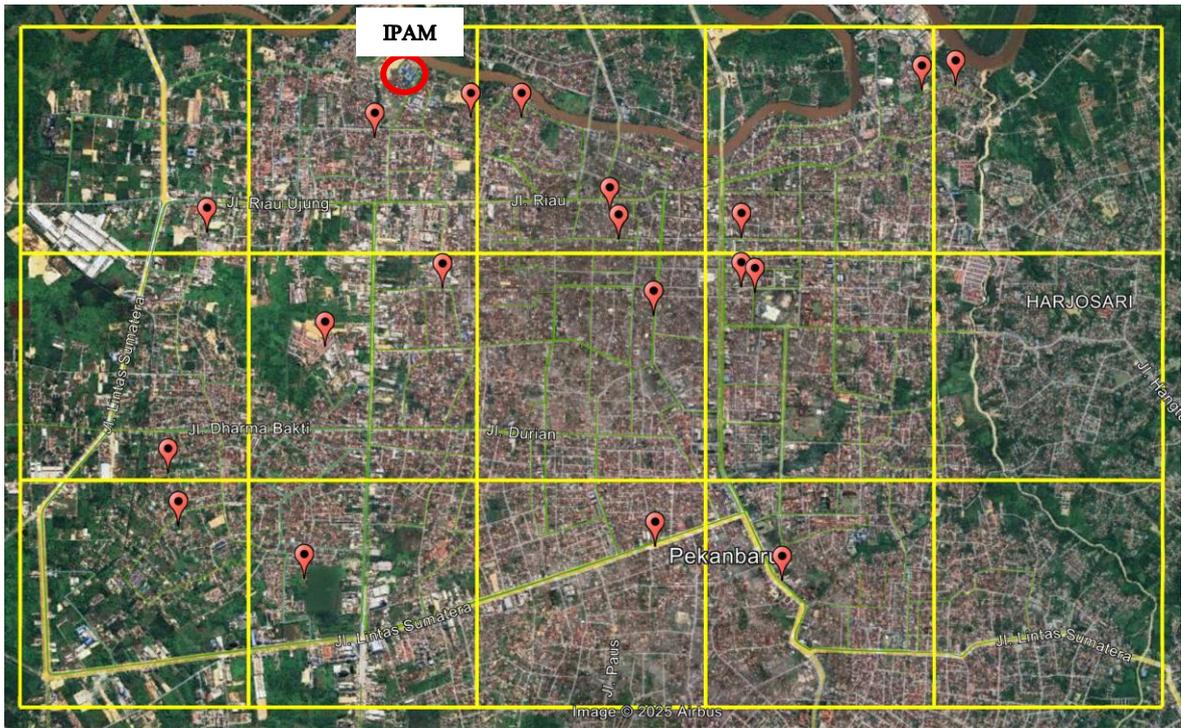
Apabila persetujuan pemilik rumah didapatkan dan dipastikan terdapat kran air untuk pengambilan sampel tidak melewati tandon, maka dilakukan pengambilan sampel untuk pengukuran sisa klor. Dokumentasi lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Dokumentasi Kran pelanggan

Sampel air diambil secara langsung pada kran pelanggan yang terhubung langsung dengan meter air. Pada pengambilan sampel dipastikan air tidak melewati tangki air terlebih dahulu sehingga konsentrasi sisa klor yang didapat dapat memberikan informasi lebih akurat mengenai konsentrasi klor pada jaringan perpipaan.

Pengukuran sisa klor menggunakan alat *chlorine meter portable* serta dilakukan secara *on site*. Lokasi pengukuran sisa klor disesuaikan dengan pembagian jumlah kebutuhan sampel pada tiap kluster sesuai dengan Gambar 3.4.. Dokumentasi pengukuran sampel dapat dilihat pada Lampiran B. Titik pengambilan sampel sesuai pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Titik Pengukuran Sisa Klor

Titik pengambilan sampel ditunjukkan oleh pin berwarna merah pada Gambar 4.14. Berikut hasil pengukuran sisa klor yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Sampling Sisa Klor

No	Waktu	Grid	Alamat	Sisa Klor	Jarak (m)
1	12:00	2	Gg. Cemara no 13A	0,2	1213
2	12:20	2	Jalan komplek Rd Poniman	0,23	1234
3	12:40	1	Gg. Indah no 3	0,05	2798
4	13:00	6	Perumahan Sommerville	0	5149
5	13:20	6	Perumahan Sommerville	0,03	5260
6	14:15	7	Jl Angkasa no 15	0,09	2819
7	14:30	7	Villa permata Indah	0,05	3661
8	15:20	12	Perum Arengka Lestari	0	5507
9	16:00	11	Jl. Jaksa	0	6648
10	16:15	3	Jl. Kapur no 35	0,19	2542
11	16:45	3	Jl . Mawar 14A	0,2	2380
12	17:00	3	Jl.Kenanga	0,15	3416
13	17:15	4	Jl Teuku Umar no 9	0,11	4172

No	Waktu	Grid	Alamat	Sisa Klor	Jarak (m)
14	17:30	4	Jl AMD Raya	0	5476
15	17:40	5	Jl AMD Raya	0	6460
16	18:00	9	Jl Sisingamangaraja	0	4434
17	18:15	9	Jl. Sisingamangaraja	0	5302
18	18:30	8	Jl Ahmad Yani 68A	0	4411
19	18:40	8	Jl Ahmad Yani	0	3972
20	18:50	13	Jl Jend Sudirman	0	7770
21	19:00	14	Jl Jend Sudirman	0	7691

Hasil pengukuran sisa klor memperlihatkan bahwa sisa klor yang bervariasi pada rentang 0 – 0,23 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, masih banyak pelanggan yang menerima air distribusi dengan konsentrasi sisa klor di bawah baku mutu. Sisa klor yang berada pada baku mutu ini terdapat pada area yang dekat dengan IPAM. Sementara itu, sisa klor yang berada di bawah baku mutu berada pada area yang lebih jauh.

Selain penggunaan data primer, digunakan juga data sekunder yang diberikan oleh Perumdam Tirta Siak mengenai pengujian kualitas air. Data ini berfungsi sebagai pendukung validasi serta pembandingan yang dapat digunakan dalam penentuan koefisien reaksi. Berikut data sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Sekunder Sampling Sisa Klor

No	Alamat	Sisa Klor
1	Puskesmas Senapelan	0,14
2	Toko Andalas Jl. Sudirman	0,07
3	Toko Stella Jl. Cempaka	0,06
4	Kantor Perumdam Tirta Siak	0,01
5	MCD Jl. Sudirman	0,05

Sumber: Perumdam Tirta Siak

Hasil pengukuran sisa klor yang dilakukan penulis dengan Perumdam Tirta Siak dapat berbeda dikarenakan perbedaan hari pengukuran dan perbedaan konsentrasi sisa klor pada reservoir. Pada pengukuran sisa klor pelanggan oleh Perumdam Tirta Siak, hasil pengukuran sisa klor pada reservoir sebesar 0,32 mg/L. Hasil pengukuran sisa klor pada reservoir saat penulis melakukan pengukuran sisa klor pelanggan yaitu sebesar 0,39 mg/L.

Pengukuran suhu dan pH juga dilakukan dengan lokasi yang sama dengan pengukuran sisa klor. Berikut hasil pengukuran terhadap suhu dan pH yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Suhu dan pH

No	Alamat	pH	Suhu
1	Gg. Cemara no 13A	6,5	31,7
2	Jalan komplek Rd Poniman	7,1	34,3
3	Gg. Indah no 3	7,9	35,7
4	Perumahan Sommerville	6,9	36,4
5	Perumahan Sommerville	7	34,3
6	Jl Angkasa no 15	6	33,1
7	Villa permata Indah	7	33,1
8	Perum Arengka Lestari	6,7	33,1
9	Jl. Kapur no 35	4,3	32,6

No	Alamat	pH	Suhu
10	Jl.Kenanga	6,2	33,2
11	Jl Teuku Umar no 9	4,9	32,5
12	Jl AMD Raya	4,8	31,3
13	Jl AMD Raya	4,4	32,3
14	Jl. Sisingamangaraja	4,8	32,6

Selain itu, digunakan pula data sekunder yang berfungsi sebagai data pendukung pada studi ini. Berikut data sekunder yang diperoleh dari Perumdam tirta Siak dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data Sekunder Pengukuran Suhu dan pH

No	Alamat	pH	Suhu
1	Puskesmas Senapelan	7,1	25
2	Toko Andalas Jl. Sudirman	7	25
3	Toko Stella Jl. Cempaka	7,5	25
4	Kantor Perumdam Tirta Siak	7,5	25
5	MCD Jl. Sudirman	7	25

Sumber: Perumdam Tirta Siak

4.2.4. Simulasi Hidrolis

Simulasi hidrolis dilakukan dengan menggunakan *software* EPANET 2.2. Simulasi diharuskan mendekati kondisi aktual agar dapat menggambarkan kondisi sebenarnya sehingga dapat digunakan dalam studi sebaran sisa klor ini. Oleh karena itu, dilakukan validasi terhadap model yang akan digunakan. Data sekunder digunakan sebagai data pendukung dalam pengolahan data agar hasil yang diperoleh dapat semakin akurat. Debit yang digunakan merupakan debit jam puncak dengan faktor sebesar 1,2. Tujuan digunakannya debit jam puncak adalah untuk mengetahui kondisi jaringan distribusi saat jam puncak terjadi.

Melalui simulasi hidrolis ini, dapat diketahui tekanan serta kecepatan alir di berbagai segmen jaringan. Selain itu, simulasi juga digunakan untuk mengetahui potensi terjadinya stagnansi aliran, area dengan tekanan rendah, serta area yang rawan kehilangan sisa klor. Hasil simulasi nantinya akan menjadi dasar dalam melakukan studi ini. Oleh karena itu, pemahaman awal terhadap jaringan distribusi terutama aspek tekanan dan kecepatan sangat penting untuk mengidentifikasi titik-titik kritis dalam jaringan. Simulasi ini juga memberikan gambaran mengenai efektivitas distribusi air minum pada kondisi eksisting.

A. Sebaran Sisa Klor

Simulasi dan kalibrasi model merupakan langkah penting dalam studi kandungan sisa klor ini. Proses ini menggunakan *software* EPANET 2.2. Kalibrasi dilakukan agar model mendekati kondisi aktual sehingga dapat berfungsi sebagai alat bantu dalam mengevaluasi jaringan distribusi eksisting dan merencanakan perbaikan distribusi sisa klor agar sesuai dengan standar kualitas air yang ditetapkan oleh Permenkes.

1. Penentuan Koefisien Reaksi

Koefisien reaksi merupakan angka yang menunjukkan laju penurunan konsentrasi, pada studi ini berupa koefisien *bulk* dan koefisien *wall*. Koefisien *bulk* (K_b) merupakan parameter yang menggambarkan laju peluruhan klorin dalam air itu sendiri, bebas dari pengaruh dinding pipa. Dalam penentuan koefisien *bulk* diperlukan nilai konsentrasi sisa klor pada awal atau T_0 serta pengukuran konsentrasi sisa klor tiap satuan waktu yang dinyatakan sebagai T_1 , T_2 , T_3 , dan seterusnya. Pengukuran konsentrasi sisa klor dilakukan di laboratorium PT. PP Tirta Madani dengan sampel air diambil pada *outlet* terdekat dengan reservoir. Berikut hasil perhitungan koefisien *bulk* yang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perhitungan Reaksi *Bulk*

Ce	C0	C0/Ce	ln Ce/C0	t (jam)	K
0,21	0,21	1,00	0	0,166	0,000
0,11	0,21	1,91	-0,646627	0,333	-1,942
0,09	0,21	2,33	-0,847298	0,5	-1,695
0,04	0,21	5,25	-1,658228	0,666	-2,490
0,04	0,21	5,25	-1,658228	0,834	-1,988
0,02	0,21	10,50	-2,351375	1	-2,351
					-1,744

Berdasarkan Tabel 4.12 dapat diketahui nilai penurunan koefisien *bulk* sebesar -1,744. Koefisien bernilai negatif dikarenakan terjadi penurunan klor. Selanjutnya nilai ini akan dimasukkan ke dalam *software* EPANET 2.2 sehingga diketahui penurunan konsentrasi klor pada jaringan distribusi.

Hasil simulasi laboratorium yang dilakukan dengan hasil pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa konsentrasi sisa klor menurun secara signifikan dalam waktu satu jam. Koefisien laju reaksi (*bulk coefficient*) yang diperoleh sebesar -1,74 menunjukkan laju konsumsi klor yang cepat. Perhitungan koefisien *bulk* pada salah satu zona pelayanan PDAM Kota Banjarmasin sebesar 0,00018. Perhitungan nilai ini berdasarkan data hasil pengukuran langsung pada pelanggan (Sofia, 2015). Selanjutnya, koefisien *bulk* juga ditemukan bernilai 0,16. Nilai ini dipengaruhi oleh kualitas air itu sendiri (Lisna, 2021).

Nilai koefisien *bulk* yang tergolong tinggi pada studi ini mengindikasikan bahwa klor masih bereaksi dengan kontaminan yang ada dalam air sehingga residunya tidak dapat bertahan lama. Hal ini terjadi karena reaksi yang terjadi dalam air dengan cepat menghabiskan sisa klor yang menyebabkan sisa klor tidak dapat mencapai pelanggan terutama pada pelanggan yang berada pada ujung jaringan. Selanjutnya, agar titik re-klorinasi tidak terlalu banyak, maka nilai koefisien *bulk* yang terlalu tinggi dapat diturunkan terlebih dahulu. Dalam upaya menekan laju kehilangan sisa klor dan mengoptimalkan proses desinfeksi, direkomendasikan dilakukannya pengukuran harian untuk parameter ammonia dan zat organik. Pengujian dapat menggunakan alat spektrofotometer HACH DR3900 yang telah tersedia pada laboratorium PT. PP Tirta Madani, pemantauan rutin ini dapat dengan mudah dilakukan menggunakan metode yang sesuai. Pemantauan harian ini akan mendukung perhitungan kebutuhan klorin yang lebih akurat dan akan meningkatkan stabilitas klor bebas.

Hasil pengujian air menunjukkan nilai pH sebesar 7,1 (Lisna, 2021). Nilai pH ini mirip dengan kondisi di IPAM Tampan, sedangkan untuk parameter lainnya menunjukkan variasi; beberapa parameter di IPAM Tampan lebih baik, seperti TDS, sementara kandungan zat organik lebih rendah pada penelitian tersebut. Berdasarkan data tersebut, maka diasumsikan bahwa laju reaksi yang terjadi tidak jauh berbeda. Tujuan dilakukan perbandingan yaitu mengetahui koefisien laju reaksi pada penelitian lainnya agar dapat mengetahui apakah koefisien laju reaksi pada IPAM Tampan telah baik atau masih dapat ditingkatkan kualitas airnya untuk memperkecil koefisien reaksi. Koefisien laju reaksi berkaitan dengan stabilitas sisa klor, apabila koefisien laju reaksi memiliki nilai negatif yang besar maka sisa klor akan sulit menjangkau area yang jauh dari IPAM karena sisa klor akan lebih cepat menurun seiring bertambahnya waktu dan jarak. Berikut perbandingan kualitas air antara IPAM Tampan dan pada penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan Kualitas Air IPAM

Kualitas air IPAM Tampan					Kualitas Air Perbandingan				
Sisa Klor	0,42				Sisa Klor	0,25			
Koefisien <i>Bulk</i>	1,73				Koefisien <i>Bulk</i>	0,16			
No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
II. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan					II. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan				
a. Fisik					a. Fisik				
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Warna	TCU	5,83	15	2	Warna	TCU	2,5	15
3	Total Padatan terlarut (TDS)	mg/L	31,9	500	3	Total Padatan terlarut (TDS)	mg/L	194	500
4	Kekeruhan	NTU	-	5	4	Kekeruhan	NTU	-	5
5	Rasa	-	Tidak Berasa	Tidak Berasa	5	Rasa	-	Tidak Berasa	Tidak Berasa
6	Suhu	oC	31,1	Suhu udara ± 3oC	6	Suhu	oC	23	Suhu udara ± 3oC
b. Kimiawi					b. Kimiawi				
1	Besi	mg/L	<0,036	0,3	1	Besi	mg/L	0,02	0,3
2	Kesadahan	mg/L	56	500	2	Kesadahan	mg/L	160	500
3	pH	-	7,32	6,5-8,5	3	pH	-	7,1	6,5-8,5
4	Zat Organik (KMnO4)	mg/L	2,84		4	Zat Organik (KMnO4)	mg/L	0,32	

Sumber: (Lisna, 2021)

Pada IPAM Tampan, konsentrasi warna, besi, dan zat organik tercatat lebih tinggi dibandingkan penelitian tersebut. Sementara itu, pada penelitian tersebut, nilai TDS dan kesadahan lebih tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa penelitian tersebut tidak memiliki keunggulan pada seluruh parameter dibandingkan IPAM Tampan sehingga tetap relevan untuk dijadikan pembandingan. Berdasarkan Tabel 4.25, koefisien *bulk* bernilai 0,16 dijadikan acuan dalam penentuan koefisien *bulk* dalam menentukan titik re-klorinasi. Pada penelitian ini, dalam melakukan penyesuaian sisa klor digunakan koefisien *bulk* yaitu 0,3.

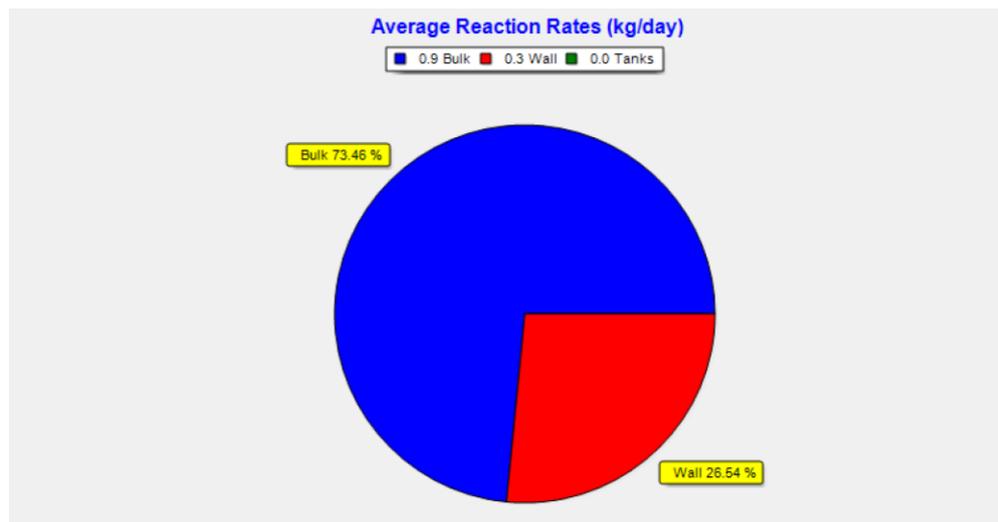
Selanjutnya, dilakukan penentuan nilai koefisien reaksi di dinding pipa (*wall reaction coefficient*). Koefisien *wall* merupakan koefisien yang merepresentasikan laju hilangnya klor akibat interaksi kimia antara klor dengan permukaan bagian dalam pipa. Nilai *wall coefficient* bergantung pada kondisi fisik pipa dan kimiawi pipa seperti material, usia pipa, tingkat kekasaran, serta keberadaan *biofilm* atau sedimen. Oleh karena itu, penentuan nilai *wall coefficient* penting dilakukan agar simulasi distribusi klor dapat menggambarkan kondisi lapangan lebih akurat.

Pada penelitian ini, penentuan *wall coefficient* dilakukan dengan menggunakan *software* EPANET 2.2. Penentuan dilakukan dengan memasukkan rentang nilai *wall coefficient* yang umum digunakan dan simulasi dijalankan untuk masing-masing nilai tersebut. Setiap hasil simulasi dengan hasil pengukuran sisa klor di lapangan dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang tersedia pada *software* EPANET 2.2. Nilai *wall coefficient* dipilih berdasarkan nilai RMSE terkecil yang menunjukkan tingkat kesesuaian tertinggi antara hasil simulasi dan data aktual di lapangan. Berikut data hasil simulasi pada EPANET 2.2 yang dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Penentuan Koefisien *Wall* dengan Data Primer

Nilai Global <i>Wall</i> Coef	Nilai RMSE
-0,5	0,037
-0,4	0,034
-0,3	0,03
-0,2	0,025
-0,1	0,024
-0,09	0,025
-0,08	0,026
-0,07	0,026
-0,06	0,028
-0,05	0,03

Berdasarkan rentang nilai yang disimulasikan, didapat nilai *wall coefficient* yaitu sebesar 0,1 dengan nilai RMSE sebesar 0,024. Pemilihan ini didasarkan pada nilai RMSE terkecil yang akan dibahas lebih lanjut pada sub bab berikutnya. Berikut reaksi pada jaringan distribusi yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Persentase *Bulk Reaction* dan *Wall Reaction*

Hasil simulasi menunjukkan laju reaksi degradasi klor dalam jaringan distribusi air didominasi oleh *bulk reaction*. Persentase reaksi *bulk* mencapai sebesar 73,46%, sedangkan reaksi yang terjadi pada dinding pipa (*wall reaction*) hanya sebesar 26,54%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar kehilangan sisa klor disebabkan oleh reaksi yang terjadi dalam air itu sendiri. Reaksi *bulk* yang tinggi disebabkan oleh adanya kandungan bahan organik dalam air yang dapat bereaksi dengan klor sehingga menurunkan sisa klor. Berdasarkan hasil tersebut, strategi pengendalian kualitas air perlu lebih difokuskan pada pengelolaan kualitas air dalam pipa seperti penambahan dosis klor awal atau peningkatan kualitas pengolahan pada IPAM.

Pada penentuan koefisien reaksi, digunakan juga data sekunder sebagai pendukung dalam penentuan koefisien reaksi. Namun, dikarenakan keterbatasan jumlah data, data sekunder hanya digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini. Pada simulasi penentuan koefisien reaksi *wall* dengan data sekunder, hasil pengukuran sisa klor pada reservoir sebesar 0,32 mg/L dimasukkan ke dalam EPANET 2.2 untuk penentuan koefisien reaksi *wall*. Berikut penentuan nilai koefisien *wall* yang dapat dilihat pada Tabel 4.15.

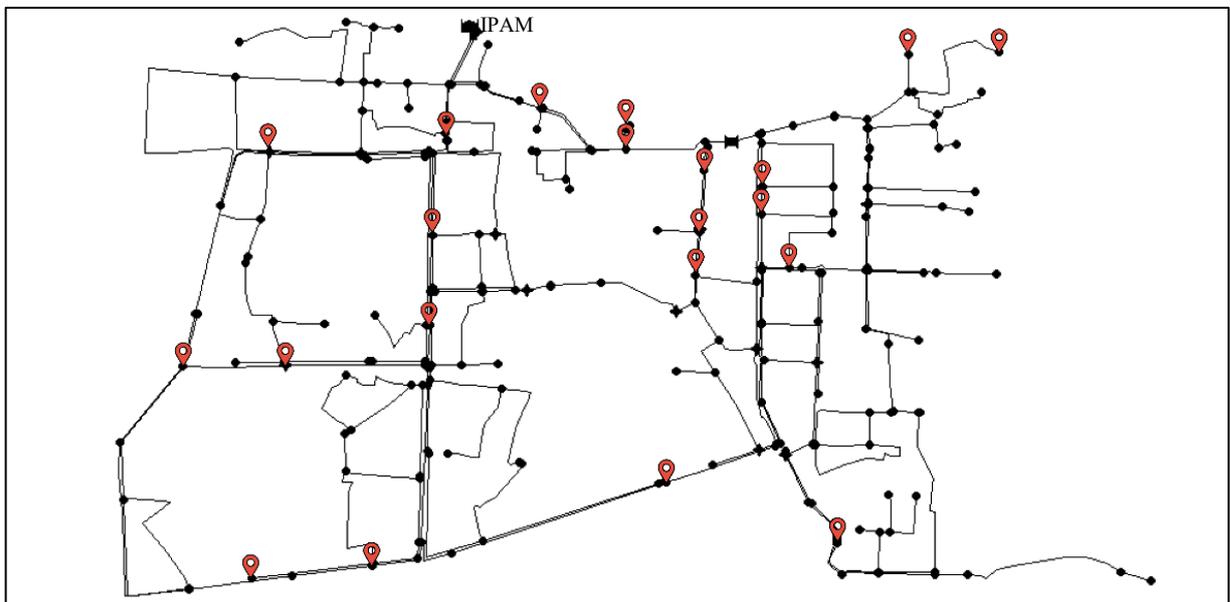
Tabel 4.15 Penentuan Koefisien *Wall* dengan Data Sekunder

Nilai Global <i>Wall</i> Coef	Nilai RMSE
-0,5	0,033
-0,4	0,029
-0,3	0,025
-0,2	0,017
-0,1	0,012
-0,09	0,014
-0,08	0,016
-0,07	0,018
-0,06	0,02
-0,05	0,022

Berdasarkan rentang nilai yang disimulasikan, didapat nilai *wall coefficient* yaitu sebesar 0,1 dengan nilai RMSE sebesar 0,012. Nilai yang didapat lebih kecil daripada data primer, namun nilai koefisien masih sama sehingga digunakan koefisien *wall* sebesar 0,1.

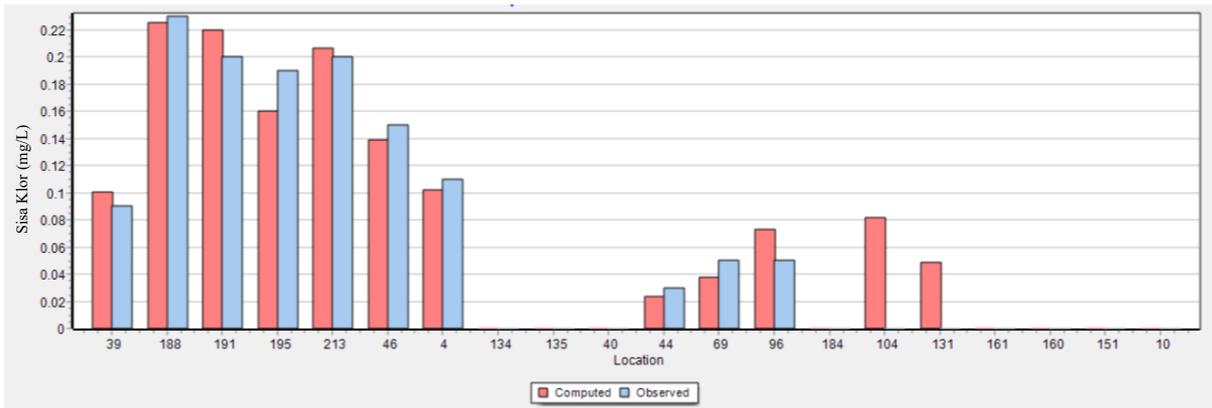
Penentuan *wall coefficient* merupakan tahap awal dalam proses validasi model untuk parameter sisa klor. Koefisien ini berpengaruh terhadap tingkat kehilangan klor pada jaringan distribusi. Berdasarkan rentang nilai yang disimulasikan, didapat nilai *wall coefficient* yaitu sebesar 0,1 dengan nilai RMSE sebesar 0,024.

Validasi model dilakukan pada *node* yang disesuaikan dengan lokasi pengukuran sisa klor pada Gambar 4.14. Hal ini bertujuan untuk memastikan model hasil simulasi telah mendekati kondisi aktual agar dapat digunakan untuk simulasi sebaran sisa klor. Selain itu, model juga digunakan dalam menentukan titik re-klorinasi untuk penyesuaian klor pada pelanggan. Berikut lokasi *node* validasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Titik Validasi Sisa Klor

Titik validasi ditunjukkan oleh pin berwarna merah pada Gambar 4.16. Terdapat 21 titik validasi sisa klor. Berikut perbandingan sisa klor hasil pengukuran dan sisa klor hasil simulasi pada EPANET 2.2. yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Perbandingan Data Simulasi dan Observasi Sisa Klor

Pada Gambar 4.17 dapat diketahui bahwa nilai sisa klor yang disimulasikan pada EPANET telah mendekati nilai hasil sampling. Nilai yang diperoleh EPANET dapat dilihat pada diagram berwarna merah, sedangkan nilai hasil sampling dapat dilihat pada diagram yang berwarna biru. Oleh karena itu, model pada EPANET sudah dapat digunakan karena sudah mendekati kondisi yang sebenarnya. Data hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Validasi Model EPANET 2.2 dengan Data Primer

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
39	1	0.09	0.10	0.011	0.011
188	1	0.23	0.23	0.005	0.005
191	1	0.20	0.22	0.020	0.020
195	1	0.19	0.16	0.030	0.030
213	1	0.20	0.21	0.006	0.006
46	1	0.15	0.14	0.011	0.011
4	1	0.11	0.10	0.008	0.008
134	1	0.00	0.00	0.000	0.000
135	1	0.00	0.00	0.000	0.000
40	1	0.00	0.00	0.000	0.000
44	1	0.03	0.02	0.006	0.006
69	1	0.05	0.04	0.012	0.012
96	1	0.05	0.07	0.023	0.023
184	1	0.00	0.00	0.000	0.000
104	1	0.00	0.08	0.082	0.082
131	1	0.00	0.05	0.048	0.048
161	1	0.00	0.00	0.000	0.000
160	1	0.00	0.00	0.000	0.000
151	1	0.00	0.00	0.000	0.000
10	1	0.00	0.00	0.000	0.000
Network	20	0.06	0.07	0.013	0.024

Berdasarkan hasil validasi, didapatkan bahwa nilai *wall coefficient* yang telah dipilih menghasilkan simulasi yang cukup mendekati nilai pengukuran pada lapangan. Beberapa titik menghasilkan *mean error* yang kecil, dan beberapa mengalami perbedaan sedikit lebih besar disebabkan oleh variabilitas kondisi aktual. Secara umum, model yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria validasi untuk dapat digunakan dalam studi kandungan klor di jaringan distribusi.

Validasi model juga dilakukan dengan menggunakan data sekunder sampling sisa klor oleh Perumdam Tirta Siak. Namun, dikarenakan keterbatasan jumlah data, data sekunder hanya digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini. Berikut hasil kalibrasi menggunakan data sekunder pada Tabel 4.17.

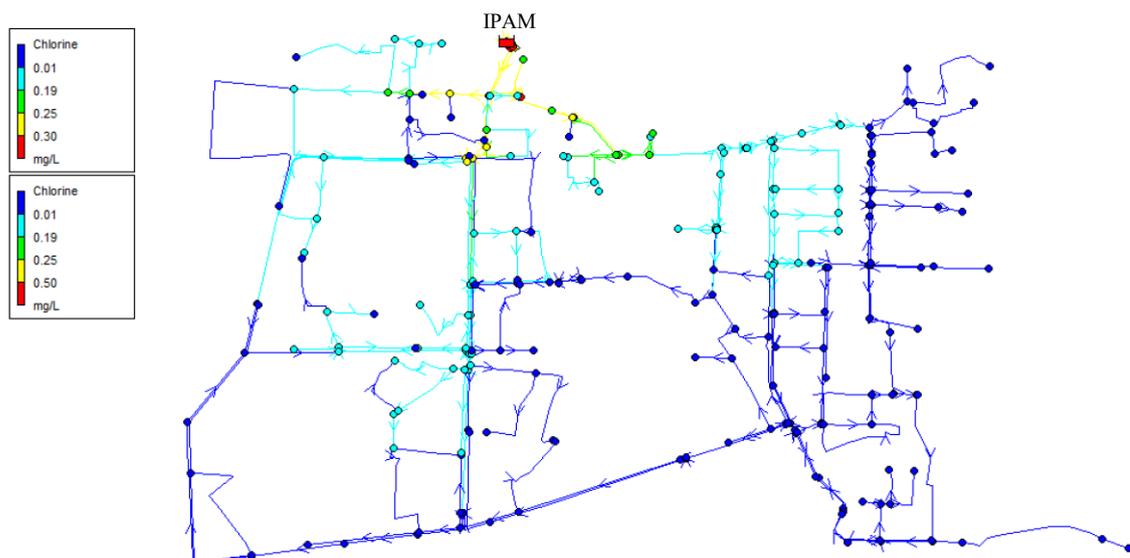
Tabel 4.17 Hasil Kalibrasi Model EPANET 2.2 dengan Data Sekunder

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
195	1	0.14	0.14	0.001	0.001
4	1	0.07	0.08	0.014	0.014
182	1	0.06	0.07	0.014	0.014
120	1	0.01	0.00	0.010	0.010
104	1	0.05	0.07	0.015	0.015
Network	5	0.07	0.07	0.011	0.012

Hasil validasi menggunakan data sekunder menghasilkan *mean error* yang lebih kecil yaitu bernilai 0,012. Hal ini berarti model yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria validasi untuk dapat digunakan dalam penelitian ini.

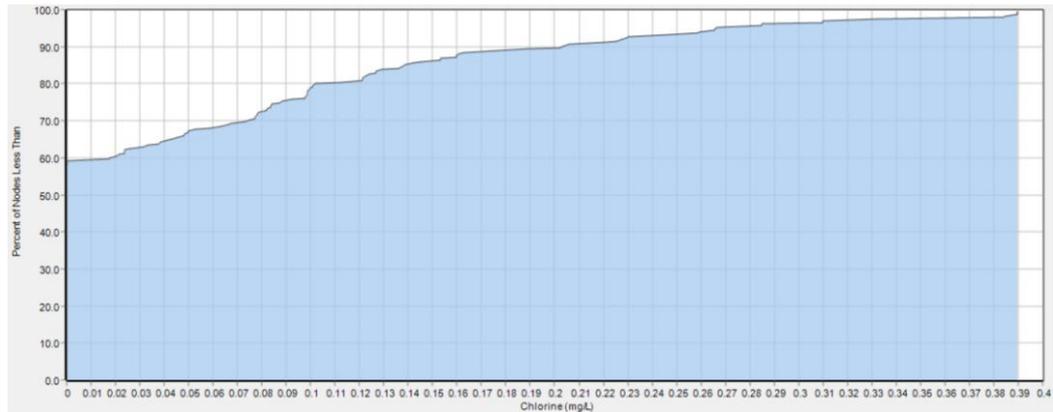
2. Hasil Simulasi

Simulasi sebaran sisa klor dilakukan menggunakan *software* EPANET 2.2. Model jaringan yang telah divalidasi dijalankan untuk memprediksi distribusi sebaran sisa klor pada jaringan distribusi. Pada simulasi, konsentrasi awal klor pada IPAM dimasukkan berdasarkan pengukuran sisa klor pada reservoir yang dilakukan oleh laboratorium PT. PP Tirta Madani yaitu 0,39 mg/L. Hasil simulasi menunjukkan penurunan sisa klor yang disebabkan oleh jarak dari sumber, debit aliran, usia air (*water age*), dan kondisi reaksi di dalam air maupun pada dinding pipa. Berikut hasil simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Simulasi Sebaran Sisa Klor pada EPANET 2.2

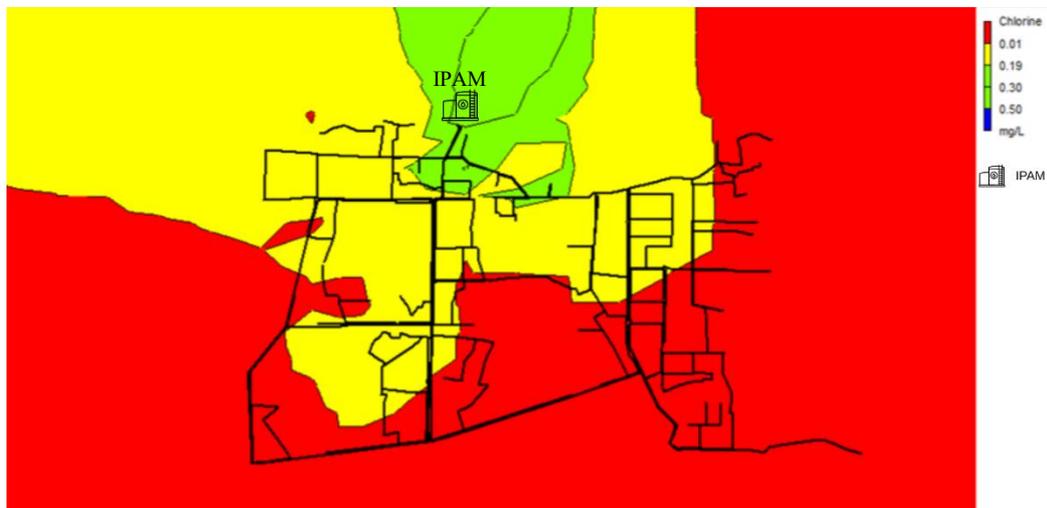
Berdasarkan hasil simulasi, konsentrasi sisa klor menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari IPAM. Daerah yang jauh dengan IPAM menunjukkan konsentrasi sisa klor yang sangat rendah bahkan nol. Semakin jauh suatu titik dari IPAM, maka semakin lama usia air yang menyebabkan konsentrasi sisa klor mengalami penurunan karena reaksi dengan senyawa yang terdapat dalam pipa, baik senyawa organik maupun anorganik. Selain itu, rendahnya konsentrasi sisa klor juga dipengaruhi oleh jumlah pelanggan aktif pada tiap DMA. Pada beberapa daerah dengan tingkat konsumsi air yang rendah, kecepatan aliran juga cenderung lambat sehingga waktu tinggal air menjadi lebih lama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa 60% *nodes* tidak memiliki konsentrasi sisa klor yang tersisa. Grafik *frequency plot* pada jam ke-24 dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Grafik *frequency plot* Sisa Klor

Grafik *frequency plot* pada jam ke-24 menunjukkan distribusi konsentrasi sisa klor di seluruh *node* jaringan distribusi air. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lebih dari 60% *node* memiliki konsentrasi klor kurang dari 0,05 mg/L. Sebagian besar pelanggan menerima air dengan kandungan klor di bawah batas aman menurut Peraturan Menteri Kesehatan yaitu 0,2 mg/L. Area dengan konsentrasi klor yang rendah dan tidak sesuai baku mutu perlu diperhatikan untuk penyesuaian dosis pembubuhan klor pada IPAM dan penambahan titik re-klorinasi.

Visualisasi sebaran sisa klor juga ditampilkan dalam bentuk peta kontur untuk memudahkan identifikasi area dengan konsentrasi klor yang cukup serta area dengan konsentrasi sisa klor di bawah baku mutu. Peta kontur dapat dilihat pada Gambar 4.20.



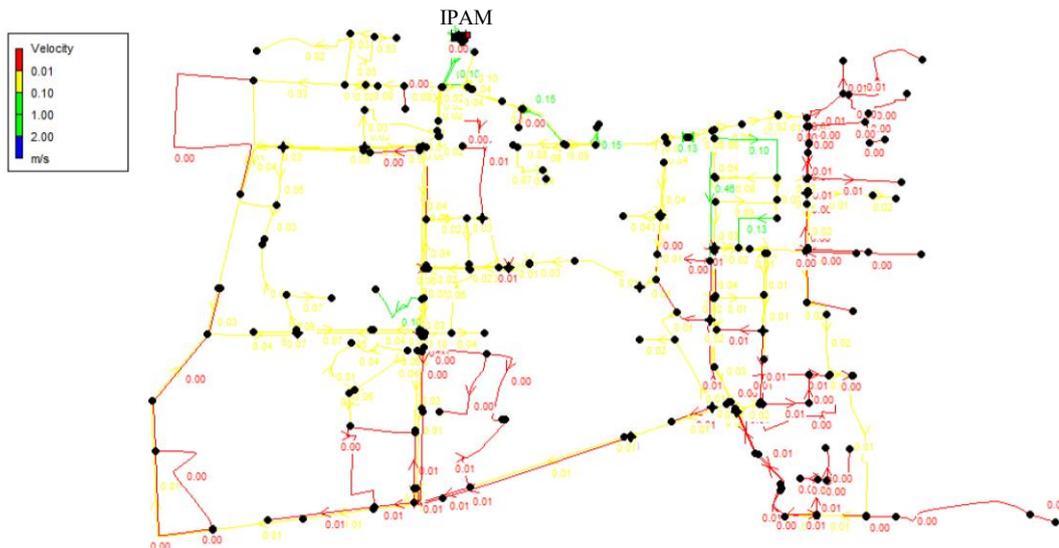
Gambar 4.20 Peta Kontur Sebaran Sisa Klor

Jaringan distribusi dengan konsentrasi klor yang sangat rendah bahkan hingga nol ditandai oleh area berwarna merah. Selanjutnya, jaringan distribusi dengan konsentrasi klor rendah dengan rentang konsentrasi sebesar 0,01 – 0,20 mg/L ditandai oleh area berwarna kuning. Area dengan warna hijau menunjukkan jaringan distribusi dengan sisa klor yang cukup baik yaitu berada pada rentang 0,20 – 0,50 mg/L. Area yang lebih dekat dengan instalasi pengolahan air menunjukkan konsentrasi sisa klor yang lebih tinggi, sedangkan daerah di ujung jaringan cenderung memiliki konsentrasi yang rendah hingga nol. Hal ini berbanding lurus dengan water age, di mana waktu tinggal air yang lebih lama berkontribusi terhadap degradasi klor yang lebih besar. Selain itu, debit pemakaian pelanggan juga mempengaruhi sebaran klor dimana area

dengan sedikit pelanggan atau konsumsi rendah mengalami penurunan klor yang lebih signifikan akibat laju aliran yang rendah.

B. Kecepatan

Simulasi kecepatan dilakukan untuk mengetahui kecepatan alir pada tiap segmen perpipaan. Kecepatan ini berkaitan dengan *water age* yang juga berkaitan dengan sisa klor. Kecepatan alir yang rendah menyebabkan usia air yang tinggi sehingga menyebabkan sisa klor ter-degradasi pada jaringan distribusi. Berikut hasil simulasi kecepatan yang dapat dilihat ada Gambar 4.21.



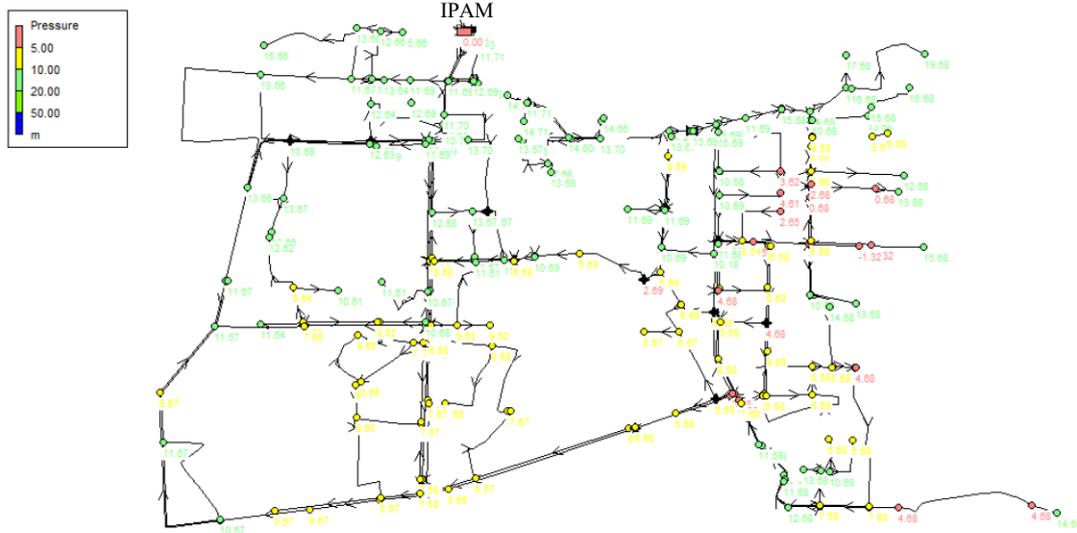
Gambar 4.21 Simulasi Kecepatan EPANET 2.2

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar kecepatan aliran dalam jaringan berada pada kisaran 0,1 hingga 1,0 m/s, yang masih sesuai dengan batas kecepatan minimum untuk menghindari sedimentasi dalam pipa. Namun, terdapat beberapa pipa yang memiliki kecepatan sangat rendah ($<0,1$ m/s), terutama di bagian pipa cabang yang belum memiliki banyak pelanggan. Kecepatan yang rendah dapat meningkatkan risiko pengendapan sedimen dan kualitas air yang menurun pada beberapa segmen jaringan.

Kebutuhan air yang sedikit menjadi salah satu penyebab sisa klor tidak sampai pada ujung jaringan. Berdasarkan hasil simulasi, kecilnya kebutuhan air pada area tertentu menyebabkan kecepatan aliran dalam pipa menjadi sangat kecil, bahkan mendekati nol. Kondisi ini dapat menyebabkan aliran stagnan atau bergerak sangat lambat yang mengakibatkan distribusi klor tidak berlangsung secara merata dan efektif, karena klor cenderung mengalami degradasi seiring waktu tinggal yang meningkat.

C. Tekanan

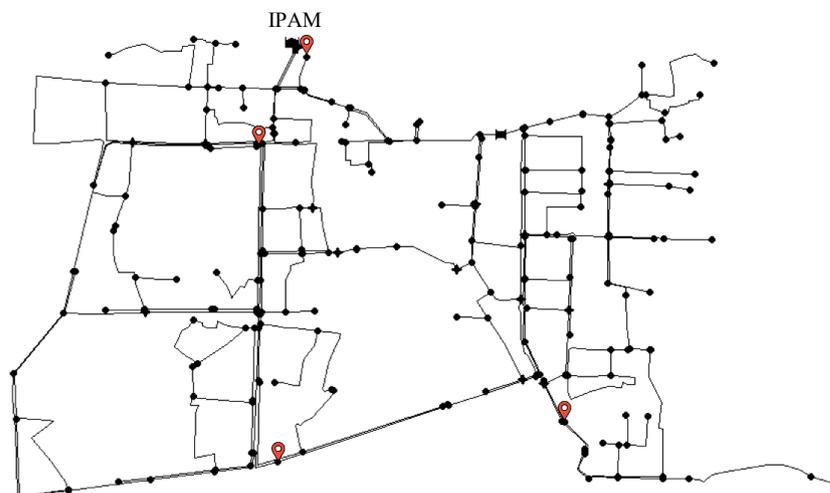
Simulasi tekanan dalam studi ini berfungsi menganalisis bagaimana distribusi tekanan pada sistem distribusi. Tekanan pada masing-masing *node* dianalisis untuk mengetahui sejauh mana kondisi jaringan mampu memenuhi kebutuhan pelayanan air kepada pelanggan. Tekanan harus dapat menjangkau hingga ujung jaringan distribusi sehingga seluruh area pelayanan dapat terlayani dengan baik. Berikut hasil simulasi tekanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.22



Gambar 4.22 Simulasi Tekanan EPANET 2.2

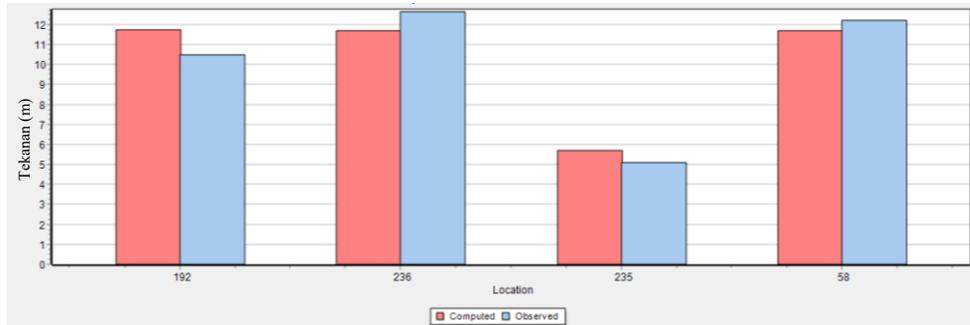
Berdasarkan hasil simulasi, sisa tekan pada jaringan distribusi bervariasi bergantung pada elevasi, jarak dari sumber air, serta kondisi pipa. Tekanan pada *nodes* ditampilkan dalam bentuk gradasi warna seperti pada Gambar 4.24, warna biru mewakili tekanan rendah dan warna hijau hingga merah menunjukkan tekanan yang lebih tinggi. Secara umum, sebagian besar *node* menunjukkan tekanan sebesar 10–25 meter, yang masih dalam batas minimum pelayanan menurut standar teknis distribusi air minum. Namun, terdapat beberapa area di bagian hilir jaringan yang mengalami tekanan di bawah 5 meter. Hal ini dapat disebabkan oleh sebaran pelanggan aktif yang belum merata.

Selanjutnya, dilakukan juga validasi tekanan. Validasi tekanan bertujuan untuk memastikan bahwa kondisi hidrolis telah mendekati kondisi aktual. Proses validasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada *node* dengan hasil pengukuran di lapangan. Data tekanan yang didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam *software* EPANET 2.2 untuk dilakukan kalibrasi. Kalibrasi terhadap tekanan bertujuan menghasilkan tekanan pada model mendekati kondisi yang sebenarnya sehingga aliran air pada model dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya pula. Hal ini penting sebelum dilakukan perencanaan titik re-klorinasi agar perencanaan dapat efektif dan efisien. Lokasi validasi tekanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Titik Validasi Tekanan

Selanjutnya, dilakukan validasi dengan menggunakan EPANET. Berikut hasil kalibrasi pada EPANET 2.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.24.

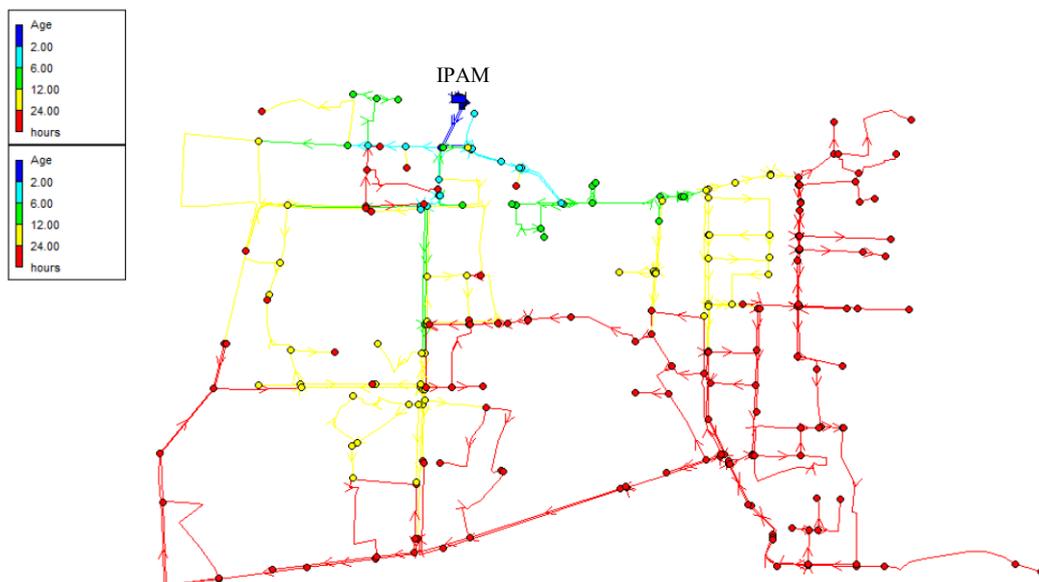


Gambar 4.24 Perbandingan Data Simulasi dan Observasi Tekanan

Grafik tersebut menunjukkan nilai simulasi telah mendekati nilai aktual. Warna merah merupakan nilai hasil simulasi dan warna biru merupakan nilai hasil pengukuran di lapangan. Secara umum, hasil validasi tekanan menunjukkan bahwa model yang disimulasikan pada EPANET 2.2 telah cukup merepresentasikan kondisi eksisting jaringan distribusi. Perbedaan antara simulasi dengan hasil pengukuran lapangan disebabkan oleh variasi penggunaan air pelanggan, faktor teknis jaringan lama, serta fluktuasi operasional pompa. Pada *node 3*, data tekanan tidak dimasukkan ke dalam epanet dikarenakan perbedaan nilai tekanan di IPAM pada saat pengukuran. Nilai tekanan IPAM yang berbeda 0,7m menyebabkan tekanan pada simulasi jauh lebih besar dibanding kondisi aktual.

D. Waktu Tinggal

Waktu tinggal air atau *water age* merupakan salah satu aspek penting untuk mengevaluasi jaringan distribusi. Simulasi *water age* dilakukan menggunakan *software* EPANET 2.2 untuk mengetahui sebaran umur air pada jaringan distribusi. *Water age* menunjukkan usia air, yaitu waktu yang telah berlalu sejak air meninggalkan IPAM hingga mencapai titik tertentu pada jaringan distribusi. Semakin besar nilai *water age* pada jaringan tertentu, maka semakin berpotensi menyebabkan degradasi kualitas air, termasuk penurunan konsentrasi sisa klor. Simulasi *water age* dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Simulasi Water Age EPANET 2.2

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.25, *water age* menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Area yang dekat dengan IPAM memiliki *water age* rendah yaitu antara 0 hingga 6 jam. Sebaliknya, area yang jauh dari IPAM, terutama daerah dengan laju aliran kecil, menunjukkan nilai *water age* yang lebih tinggi hingga mencapai 24 jam.

Pada area dengan *water age* di atas 12 jam, risiko hilangnya sisa klor bebas semakin besar dan pada akhirnya dapat meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme dalam jaringan. Namun, hal ini juga berkaitan dengan debit pelanggan yaitu pada area dengan *water age* yang tinggi masih memiliki sedikit bahkan tidak ada pelanggan aktif. Bertambahnya kebutuhan air di suatu daerah pada masa mendatang diharapkan dapat mempercepat laju aliran dalam pipa sehingga mempersingkat *water age*.

4.3. Analisis Korelasi

Berdasarkan hasil analisis, nilai koefisien *bulk* yang besar menunjukkan adanya faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas klor bebas dalam air. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingginya nilai koefisien *bulk* dalam jaringan distribusi disebabkan oleh reaksi antara klorin dengan kontaminan, terutama ammonia dan zat organik. Ammonia dapat bereaksi dengan klor dan membentuk kloramin melalui proses klorinasi tahap awal, yang mengakibatkan konsumsi klor bebas lebih cepat. Selain itu, senyawa organik yang berperan sebagai agen reduktor, dapat mempercepat dekomposisi klor sehingga meningkatkan kebutuhan klorin untuk mempertahankan konsentrasi sisa klor. Kecepatan reaksi ini bergantung pada pH dan suhu. Oleh karena itu, dilakukan analisis hubungan suhu dan pH terhadap sisa klor.

4.3.1. Uji Normalitas

Analisis korelasi dilakukan dengan data primer serta data sekunder yang berperan sebagai pendukung. Uji normalitas dilakukan terlebih dahulu agar diketahui metode analisis korelasi yang dapat digunakan. Berikut hasil uji normalitas dengan menggunakan data primer dan data sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.

Tabel 4.18 Uji Normalitas Data Primer

<i>Shapiro-Wilk</i>			
	Statistic	df	Sig.
Sisa_klor	0,853	14	0,025
Suhu	0,887	14	0,073
pH	0,912	14	0,168

Tabel 4.19 Uji Normalitas Data Sekunder

<i>Shapiro-Wilk</i>			
	Statistic	df	Sig.
Sisa_klor	0,933	5	0,617
pH	0,766	5	0,041
Suhu	-	5	-

Data dapat dikatakan terdistribusi normal apabila hasil pengujian signifikan ($p > 0,05$). Sebaliknya, data dapat dikatakan tidak terdistribusi normal adalah data yang temuan pengujiannya tidak signifikan secara statistik ($p < 0,05$). Hasil uji normalitas ini digunakan untuk mengetahui jenis metode analisis yang digunakan. Berikut metode analisis yang digunakan. Berikut metode analisis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21.

Tabel 4.20 Metode Analisis Data Primer

Variabel	Metode Analisis Korelasi
Sisa Klor	<i>Rank Spearman</i>
Suhu	<i>Pearson</i>
pH	<i>Pearson</i>

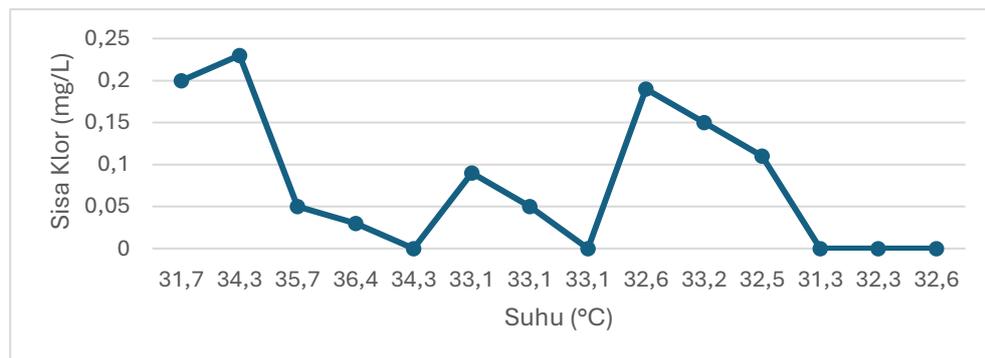
Tabel 4.21 Metode Analisis Data Sekunder

Variabel	Metode Analisis Korelasi
Sisa Klor	<i>Pearson</i>
Suhu	<i>Rank Spearman</i>
pH	<i>Rank Spearman</i>

Berdasarkan uji normalitas, diketahui bahwa variabel sisa klor tidak terdistribusi normal, meskipun suhu dan pH menunjukkan distribusi normal. Oleh karena itu, analisis korelasi yang digunakan adalah *Rank Spearman* karena metode ini tidak memerlukan asumsi normalitas.

4.3.2. Analisis Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor pada Pelanggan

Analisis korelasi suhu terhadap sisa klor hanya menggunakan data primer dikarenakan data sekunder menunjukkan angka pengukuran suhu yang sama yaitu 25°C pada semua titik pengukuran. Grafik hubungan sisa klor terhadap pH dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui apakah suhu mempengaruhi konsentrasi sisa klor dalam penelitian ini. Analisis korelasi menggunakan metode *Rank Spearman* dikarenakan data tidak terdistribusi secara normal. Berikut hasil analisis korelasi dengan menggunakan data primer yang dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Analisis Korelasi Suhu Terhadap Sisa Klor

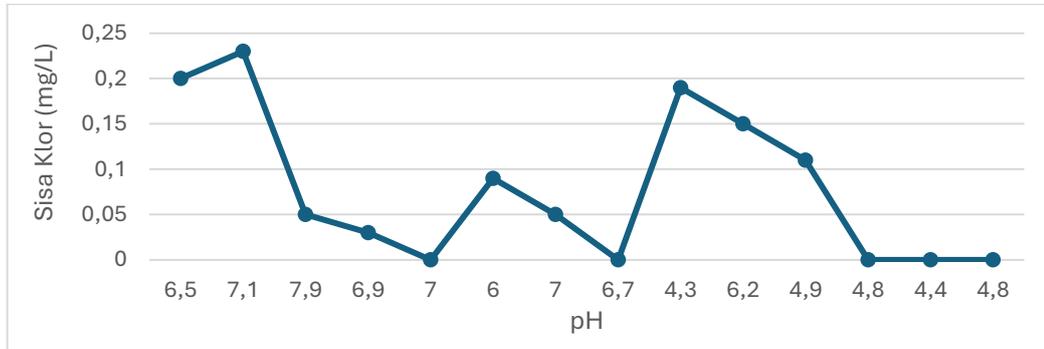
		Sisa_klor	Suhu
Spearman's rho	Sisa_klor	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.631
		N	14
Suhu	Sisa_klor	Correlation Coefficient	.141
		Sig. (2-tailed)	.631
		N	14

Hasil analisis korelasi menunjukkan nilai koefisien korelasi mendekati nol dimana terdapat hubungan yang lemah. Selanjutnya, hasil analisis dapat diketahui bahwa nilai Sig lebih besar dari 0,05. Hal ini berarti data tidak signifikan secara statistik dimana hubungan tersebut

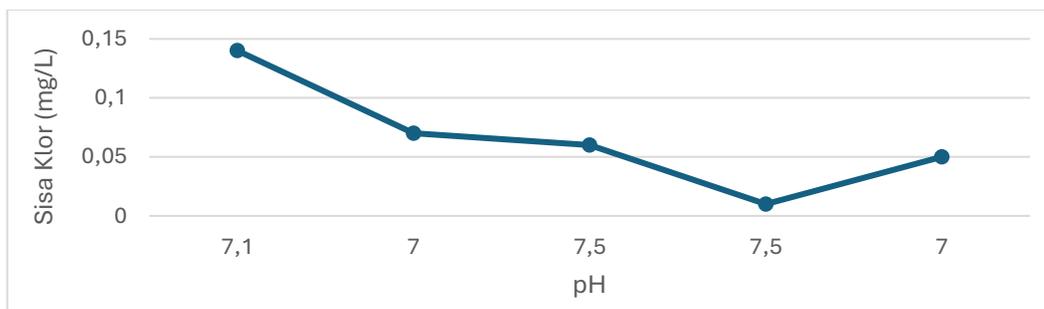
kemungkinan besar hanya terjadi karena kebetulan dalam data sampel dan tidak dapat di generalisasi.

4.3.3. Analisis Hubungan pH Terhadap Sisa Klor pada Pelanggan

Analisis korelasi hubungan pH terhadap kandungan sisa klor pada pelanggan dilakukan dengan data primer serta data sekunder yang berperan sebagai pendukung. Berikut grafik hubungan pH terhadap sisa klor yang dapat dilihat pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.



Gambar 4.27 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Primer



Gambar 4.28 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Sekunder

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui apakah pH mempengaruhi konsentrasi sisa klor dalam penelitian ini. Analisis korelasi menggunakan metode *Rank Spearman* dikarenakan data tidak terdistribusi secara normal. Analisis korelasi juga dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang digunakan sebagai pendukung dalam analisis. Berikut hasil analisis korelasi dengan menggunakan data primer yang dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Analisis Korelasi pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Primer

		Sisa_klor	pH
Spearman's rho	Sisa_klor	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.072
		N	14
pH		Correlation Coefficient	.072
		Sig. (2-tailed)	1.000
		N	14

Tabel 4.24 Analisis Korelasi pH Terhadap Sisa Klor Menggunakan Data Sekunder

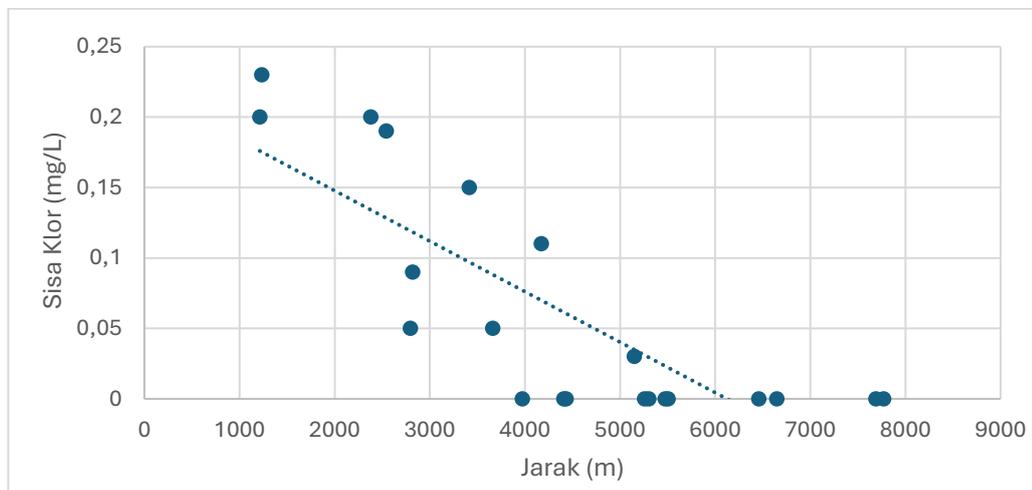
		Sisa_Klor	pH
Spearman's rho	Sisa_Klor	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	-.316
		N	5
pH		Correlation Coefficient	-.316
		Sig. (2-tailed)	1.000
		N	5

Berdasarkan hasil analisis korelasi, nilai koefisien korelasi pada data primer sangat mendekati nol dimana terdapat hubungan yang sangat lemah. Kemudian, pada data sekunder didapat hasil nilai koefisien korelasi adalah -0,316 yaitu terdapat hubungan negatif dimana saat satu variabel naik yang lain cenderung turun. Namun, pada kedua data hubungan ini dikatakan lemah dikarenakan nilai $r < 0,5$.

Hasil analisis menggunakan data primer dan sekunder dapat diketahui bahwa nilai Sig lebih besar dari 0,05. Hal ini berarti data tidak signifikan secara statistik dimana hubungan tersebut kemungkinan besar hanya terjadi karena kebetulan dalam data sampel dan tidak dapat di generalisasi.

4.3.4. Analisis Hubungan Jarak terhadap Sisa Klor

Analisis hubungan antara jarak dan sisa klor dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi klor juga dipengaruhi oleh panjang jaringan pipa yang diukur dari IPAM menuju titik pengukuran sisa klor. Grafik hubungan jarak dengan sisa klor dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.29 Hubungan Jarak Terhadap Sisa Klor

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.29 di atas, semakin jauh jarak yang ditempuh air maka sisa klor akan semakin berkurang. Hal ini berkaitan dengan reaksi yang terjadi yaitu *bulk reaction* dan *wall reaction*. Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui apakah jarak berpengaruh kuat terhadap kehilangan sisa klor. Analisis korelasi menggunakan metode *Rank Spearman*. Berikut hasil analisis korelasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Analisis Korelasi Jarak Terhadap Sisa Klor

		Sisa_Klor	Jarak
Spearman's rho	Sisa_Klor	1.000	-.865**
	Sig. (2-tailed)	.	<,001
Jarak	Correlation Coefficient	-.865**	1.000
	Sig. (2-tailed)	<,001	.
	N	21	21

Hasil analisis korelasi menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar -0,865 dengan tingkat signifikan $< 0,001$. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif yang sangat kuat antara jarak distribusi dengan konsentrasi sisa klor. Hal ini berarti semakin jauh jarak titik pengukuran sisa klor dari IPAM, maka konsentrasi sisa klor juga akan semakin rendah. Hubungan ini juga signifikan secara statistik, yang berarti penurunan konsentrasi sisa klor dipengaruhi oleh bertambahnya jarak. Hasil ini mengindikasikan bahwa klor mengalami degradasi seiring bertambahnya jarak yang terjadi akibat reaksi *bulk* dan reaksi *wall*.

Jarak tempuh air dari IPAM menuju pelanggan dapat mempengaruhi sisa klor. Semakin jauh jarak tempuh air, maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya penurunan konsentrasi sisa klor. Hal ini berkaitan dengan usia air, yaitu lamanya waktu yang dibutuhkan air untuk mencapai pelanggan. Seiring bertambahnya waktu dan jarak, klor yang dibubuhkan pada proses desinfeksi dapat mengalami degradasi akibat reaksi *bulk* dan *wall*. Oleh karena itu, jarak dan usia air merupakan dua faktor yang saling berkaitan dan berpengaruh terhadap konsentrasi sisa klor. Namun, kedua hal ini tidak dapat dihindarkan dikarenakan jumlah pelanggan pada zona 2 masih sedikit pada beberapa DMA yang menyebabkan kecepatan alir yang rendah.

4.4. Penyesuaian Sisa Klor

Simulasi hidrolis menunjukkan terdapat indikasi penurunan konsentrasi klor dalam waktu singkat. Hasil simulasi hidrolis serta analisis menjadi dasar dalam pembahasan untuk identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas desinfeksi serta sebaran sisa klor yang tidak merata. Terdapat indikasi adanya pengaruh reaksi kimia dan kondisi hidrolis. Selanjutnya, Hasil simulasi pada Gambar 4.20 menunjukkan bahwa terdapat area yang memiliki konsentrasi sisa klor di bawah baku mutu yang ditetapkan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan efek negatif terhadap kualitas air yang diterima pelanggan. Oleh karena itu, dilakukan penyesuaian sisa klor sebagai upaya dalam pengendalian kualitas air.

Hasil analisis penyebab penurunan sisa klor yang cepat menunjukkan penurunan konsentrasi sisa klor diduga kuat dipengaruhi oleh keberadaan ammonia dan zat organik. Perhitungan koefisien *bulk* pada salah satu zona pelayanan PDAM Kota Banjarmasin sebesar 0,00018. Perhitungan nilai ini berdasarkan data hasil pengukuran langsung pada pelanggan (Sofia, 2015). Selanjutnya, koefisien *bulk* juga ditemukan bernilai 0,16. Nilai ini dipengaruhi oleh kualitas air itu sendiri (Lisna, 2021). Pada penelitian terdahulu tersebut, kandungan zat organik telah berada pada tingkat rendah, sehingga laju konsumsi klor dalam sistem tersebut lebih stabil. Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, nilai koefisien *bulk* dari penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan, khususnya apabila sudah dilakukan pemantauan secara rutin terhadap kandungan ammonia dan zat organik di IPAM Tampan.

Berdasarkan hasil analisis sebaran sisa klor, diusulkan solusi dengan mempertimbangkan pendekatan teknis dan efisiensi operasional. Solusi yang dapat diterapkan pada penyesuaian sisa klor ini yaitu dengan melakukan penambahan klor pada IPAM serta penambahan titik re-klorinasi pada beberapa titik jaringan. Perencanaan ini juga mempertimbangkan efisiensi penggunaan gas klor pada titik re-klorinasi untuk menghindari pemborosan dalam penggunaan gas klor. Solusi ini diharapkan dapat menjaga konsentrasi sisa klor hingga ke area ujung jaringan.

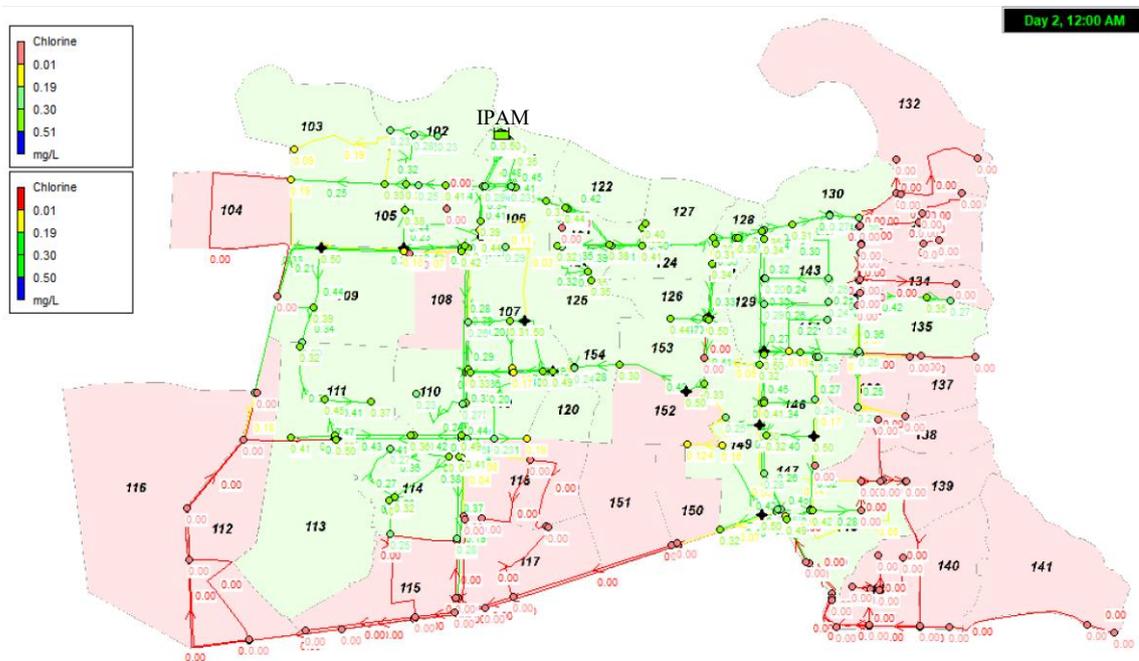
Penambahan dosis pembubuhan gas klor sesuai analisis pada Subbab 4.1, terdapat perbedaan kebutuhan klor antara musim kemarau dan musim hujan. Pada musim hujan, diperlukan dosis klor yang lebih tinggi dibandingkan musim kemarau karena tingginya beban pencemar. Selain itu, berdasarkan simulasi BPC menunjukkan bahwa titik *breakpoint* berada pada dosis yang lebih tinggi dari 3 mg/L. Penambahan dosis pembubuhan harus tetap memperhatikan kualitas air harian agar proses desinfeksi dapat lebih optimal. Selain itu, diperlukan peningkatan frekuensi pemantauan terhadap parameter ammonia dikarenakan ammonia dapat memengaruhi efektivitas desinfeksi.

Penentuan titik re-klorinasi dilakukan berdasarkan hasil pemetaan sebaran sisa klor yang dapat dilihat pada Gambar 4.20 yaitu pada area dengan sisa klor di bawah baku mutu. Pendekatan ini dilakukan dengan penambahan titik re-klorinasi tambahan pada lokasi-lokasi strategis yang telah ditentukan berdasarkan simulasi penurunan konsentrasi klor. Konsentrasi klor yang akan diinjeksikan bergantung pada kebutuhan klor daerah yang akan dilayani oleh re-klorinasi. Lokasi titik re-klorinasi pada simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.30.

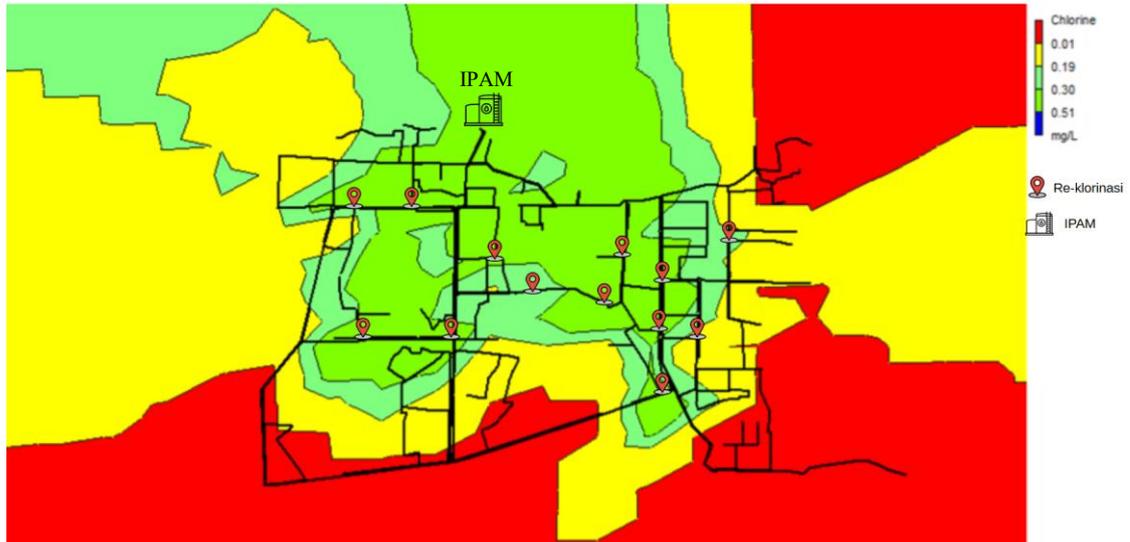


Gambar 4.30 Rencana Titik Re-klorinasi

Selanjutnya, dilakukan perbandingan hasil simulasi pada jam ke 24 dan pada jam ke 72. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan dan efektivitas penyebaran sisa klor dalam jaringan distribusi setelah dilakukan penyesuaian dengan penambahan titik re-klorinasi. Selain itu, tujuan dilakukannya perbandingan ini yaitu untuk mengevaluasi dinamika perubahan konsentrasi sisa klor seiring waktu dalam sistem distribusi. Hal ini juga dilakukan dikarenakan pada beberapa segmen jaringan masih memiliki kecepatan alir yang minim sehingga konsentrasi sisa klor masih belum dapat mencapai titik terjauh dikarenakan kurangnya waktu. Hasil simulasi pada dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32.

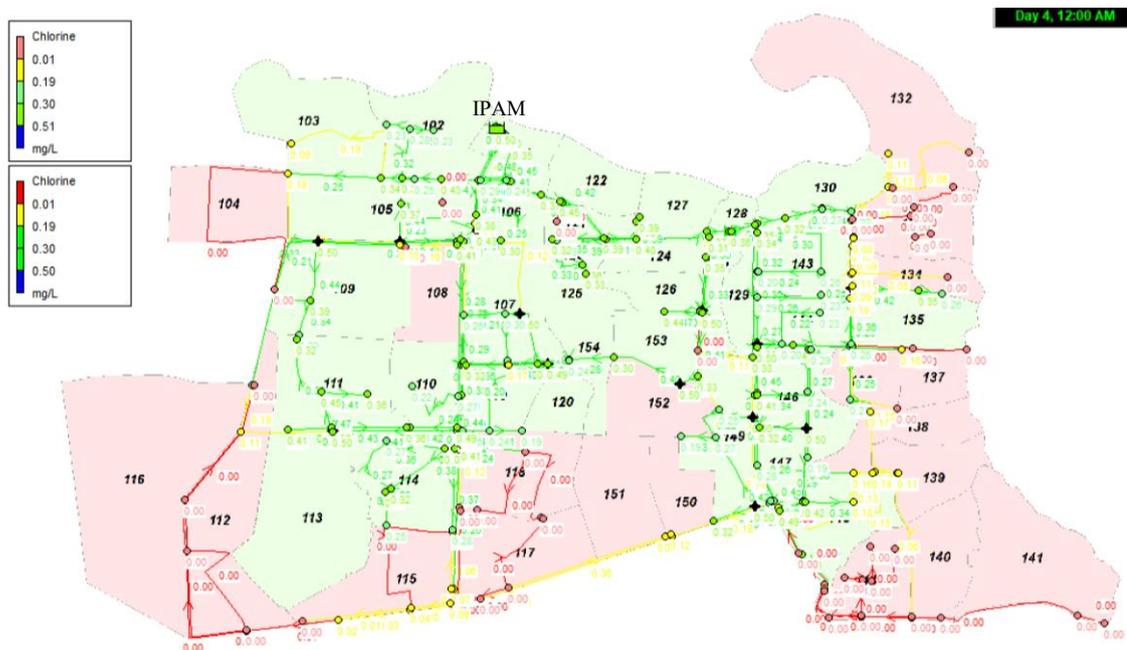


Gambar 4.31 Hasil Simulasi pada Jam 24

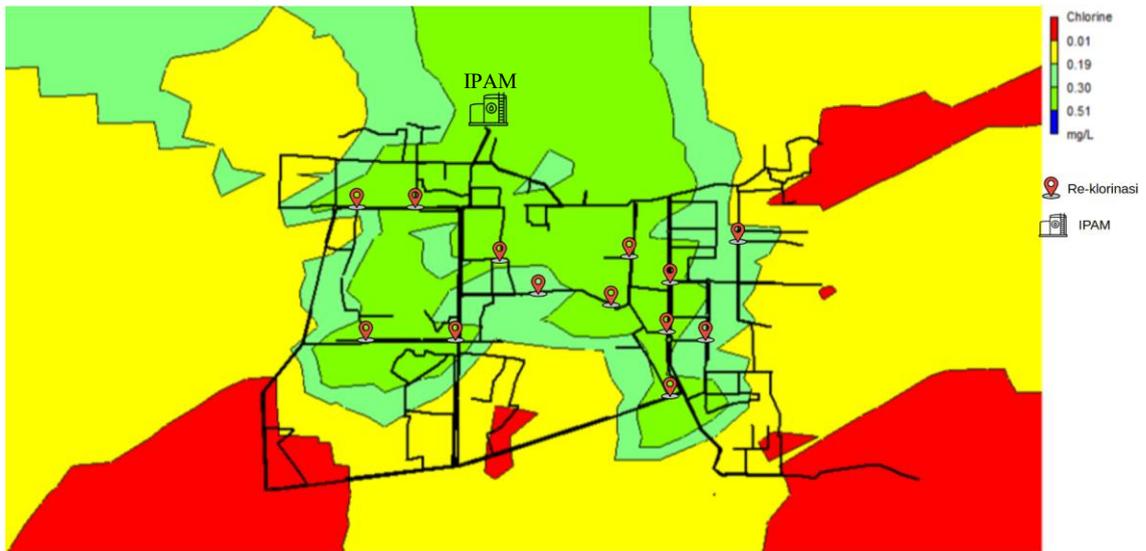


Gambar 4.32 Peta Kontur Sisa Klor pada Jam 24

Hasil simulasi pada jam ke 24 setelah ditambah titik re-klorinasi menunjukkan hasil yang cukup baik. Pada DMA yang termasuk dalam wilayah analisis, sisa klor sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,2-0,5 mg/L. Pada DMA yang tidak termasuk dalam wilayah analisis sisa klor menunjukkan hasil nol dikarenakan memang belum terdapat pelanggan aktif sehingga *demand* sangat kecil hingga nol. Hal ini tidak dapat diatasi hanya dengan penambahan titik re-klorinasi karena kebutuhan air yang sangat minim menyebabkan aliran air juga sangat minim. Apabila pada daerah tersebut ditambahkan titik re-klorinasi maka klor bebas akan hilang karena usia air yang tinggi. Selanjutnya, dilakukan simulasi pada jam ke 72 untuk dilakukan perbandingan. Berikut simulasi pada jam ke 72 dapat dilihat pada Gambar 4.33 dan Gambar 4.34.



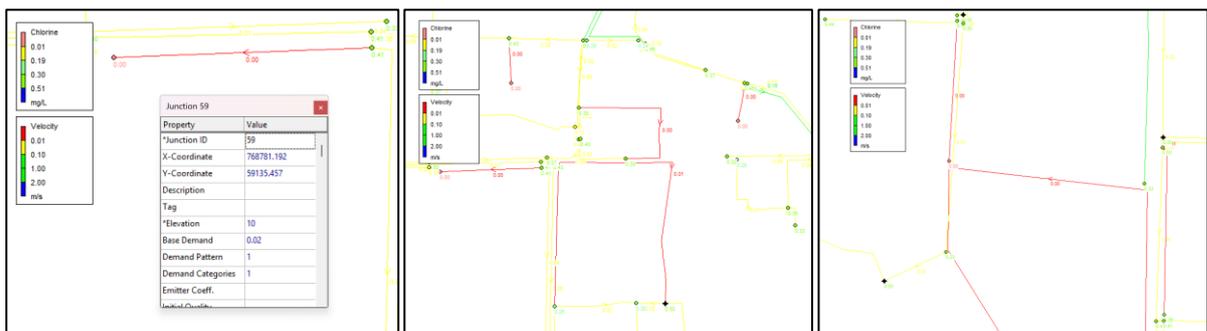
Gambar 4.33 Hasil Simulasi pada Jam 72



Gambar 4.34 Peta Kontur Sisa Klor pada Jam 72

Simulasi dilakukan pada jam ke 24 dan 72 bertujuan untuk melihat perkembangan dan kestabilan konsentrasi sisa klor dalam jaringan distribusi seiring dengan waktu tinggal air yang lebih panjang. Pada peta kontur, terlihat peningkatan distribusi klor pada jam ke-72. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambah panjangnya waktu tinggal air, maka klor akan tersebar lebih merata. Selain itu, hasil ini juga mengindikasikan bahwa strategi penyesuaian yang telah dilakukan telah berhasil meningkatkan efektivitas proses disinfeksi.

Pada beberapa titik terlihat warna merah dan kuning dalam DMA dengan pelanggan aktif dikarenakan beberapa faktor yaitu terdapat pipa tanpa adanya titik tapping dan *node* dengan demand sangat kecil atau tidak mempunyai demand yang menyebabkan *velocity* mendekati nol. Berikut area dengan warna merah dan kuning yang masih berada dalam DMA dengan pelanggan aktif yang termasuk cakupan wilayah penelitian.



Gambar 4.35 Segmen Jaringan dengan *Velocity* Rendah

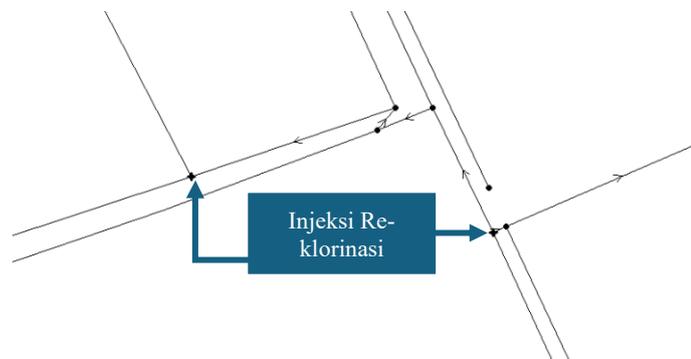
Segmen jaringan pada Gambar 4.35 tersebut masih memiliki sisa klor yang berada di bawah baku mutu karena kecepatan alir yang sangat rendah bahkan nol. Hal ini dikarenakan terdapat pipa tanpa adanya titik tapping dan *node* dengan demand sangat kecil atau tidak mempunyai demand.

Pada simulasi ini, diperoleh 13 titik re-klorinasi agar sisa klor dapat tersebar di seluruh jaringan distribusi air minum pada wilayah pelayanan zona 2. Titik re-klorinasi ini dapat membantu meningkatkan kualitas air dengan cara menjaga konsentrasi sisa klor dalam jaringan distribusi. Lokasi titik re-klorinasi dan konsentrasi pembubuhan yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Node Re-klorinasi

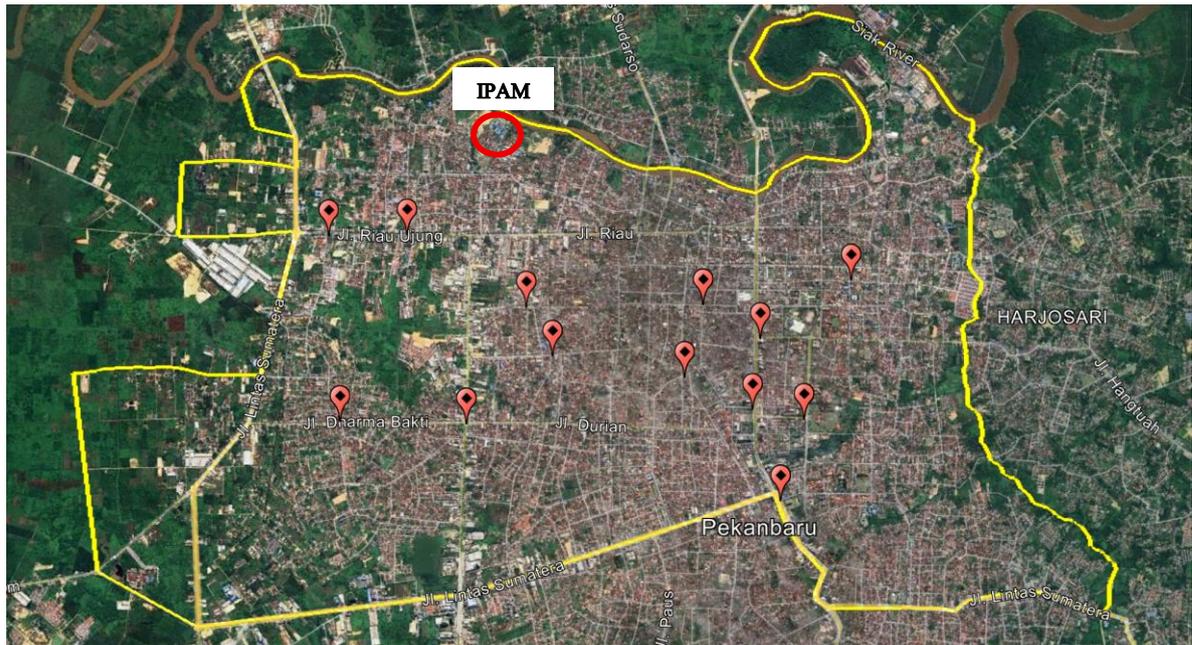
No.	Node	Konsentrasi (mg/L)
1	9 & 124	0,5
2	19	0,4
3	31	0,5
4	35	0,4
5	38	0,5
6	39	0,5
7	44	0,35
8	48	0,5
9	53	0,5
10	97	0,5
11	123	0,5
12	180	0,35
13	210	0,5

Terdapat 13 lokasi re-klorinasi dengan konsentrasi pembubuhan mulai dari 0,35 mg/L – 0,5 mg/L. Titik re-klorinasi pada *node* 9 dan *node* 124 digabung karena lokasi yang berdekatan sehingga penempatan pompa pada lokasi yang sama. Hal ini dilakukan agar apabila re-klorinasi menggunakan pompa maka akan mengurangi sedikit biaya investasi dan operasional. Sehingga total titik re-klorinasi dibutuhkan 13 titik. Contoh sketsa desain dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 Lokasi Re-klorinasi Node 9 dan 124

Selanjutnya, dilakukan penentuan titik re-klorinasi menggunakan *software* Google Earth yang bertujuan memberikan gambaran yang jelas dan akurat mengenai lokasi dari titik-titik re-klorinasi berdasarkan hasil simulasi. Selain itu, lokasi dapat dianalisis dalam konteks kondisi geografis sebenarnya, seperti kedekatannya dengan jalur pipa eksisting, aksesibilitas lapangan, dan keberadaan pelanggan. Penggunaan Google Earth juga mempermudah visualisasi wilayah cakupan distribusi. Dengan visualisasi ini, evaluasi terhadap efektivitas titik re-klorinasi dapat dilakukan lebih akurat dan efisien. Berdasarkan letaknya, titik re-klorinasi yang berada pada ujung jaringan ditempatkan dengan tujuan memastikan air yang sampai ke pelanggan tetap memenuhi ambang batas minimal sisa klor. Berikut lokasi titik re-klorinasi yang telah disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 4.37.



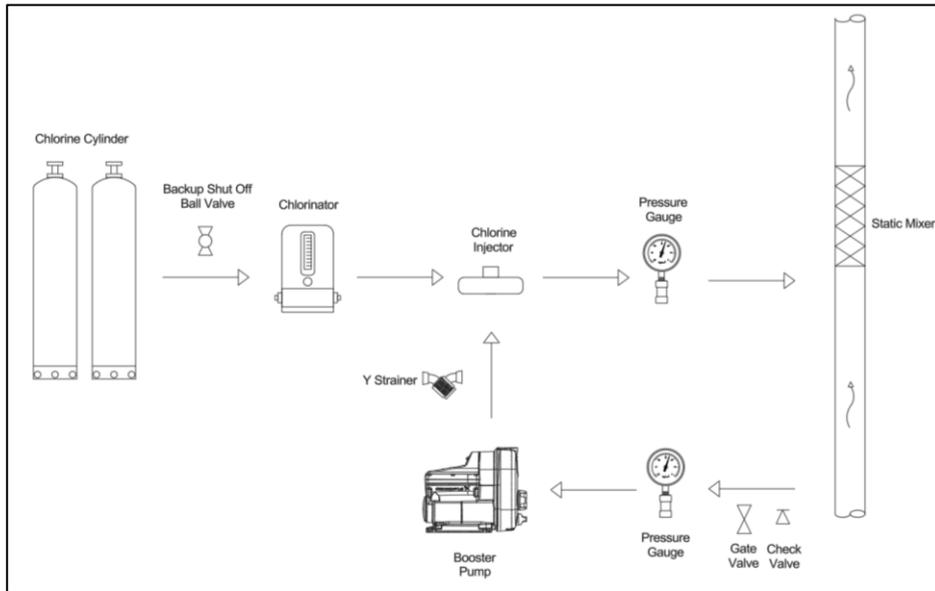
Gambar 4.37 Lokasi Titik Re-klorinasi

Kemudian visualisasi area titik re-klorinasi pada titik-titik yang sudah ditetapkan. Tujuan dari visualisasi area ini yaitu untuk membantu melihat sebaran titik re-klorinasi secara keseluruhan untuk menghindari titik yang terlalu dekat atau terlalu berjauhan. Berikut pemetaan area yang dapat dijangkau tiap titik re-klorinasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Area Pelayanan Re-klorinasi

Titik re-klorinasi yang telah direncanakan diharapkan dapat menjaga sisa klor dalam air hingga air mencapai ujung jaringan. Hal ini diharapkan dapat menjaga kualitas air khususnya menghindari dari kontaminasi ulang saat air mengalir dalam jaringan distribusi. Skematik proses desinfeksi pada titik re-klorinasi dapat dilihat pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39 Skematik Proses Desinfeksi

Proses desinfeksi menggunakan gas klorin sebagai desinfektan. Pada proses ini, gas klor dari tabung gas dialirkan melalui chlorinator yang berfungsi mengatur konsentrasi pembubuhan sesuai kebutuhan. Pengaturan dosis pembubuhan dilakukan oleh operator terkait dan nantinya gas klor tersebut akan diinjeksi sesuai kebutuhan ke dalam jaringan distribusi. Klor kemudian dialirkan menuju chlorine injector untuk proses injeksi ke dalam aliran air. Alat chlorinator dan injector disesuaikan dengan dosis klor serta debit aliran pada jaringan distribusi.

Sebelum klor masuk ke dalam jaringan distribusi, klor dicampurkan terlebih dahulu dengan air yang dialirkan dari jaringan distribusi bertujuan untuk pengenceran gas klor. Pencampuran ini bertujuan mengencerkan gas klor sehingga distribusi gas klor dalam air dapat lebih merata. Aliran air yang digunakan untuk pengenceran didorong oleh booster pump untuk memastikan tekanan cukup agar campuran dapat masuk ke injector. Pada sistem ini juga dilengkapi check valve dan gate valve untuk memastikan aliran air hanya satu arah. Pipa pada aliran juga dilengkapi oleh Y-strainer yang berfungsi menyaring kotoran dalam jaringan sebelum air melewati injector. Selanjutnya, terdapat dua buah pressure gauge pada sisi inlet dan outlet injector untuk memantau tekanan operasional. Denah bangunan re-klorinasi dapat dilihat pada lampiran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, berikut kesimpulan yang dapat diambil.

1. Konsentrasi sisa klor pada beberapa titik di jaringan distribusi air minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tahun 2023 yaitu sebesar 0,2-0,5 mg/L. Daerah yang berada di ujung jaringan dan daerah dengan konsumsi air sangat rendah memiliki konsentrasi sisa klor di bawah baku mutu. Hal ini disebabkan akibat tingginya usia air karena kecepatan aliran yang sangat rendah. Selain itu, penyebab rendahnya sisa klor adalah karena kondisi klor yang belum stabil sehingga masih aktif bereaksi dengan zat pengotor yang mungkin masih terdapat di dalam jaringan pipa.
2. Penyesuaian konsentrasi sisa klor pada pelanggan dilakukan melalui penambahan dosis klor di IPAM dan penambahan titik re-klorinasi. Penambahan dosis klorin pada proses desinfeksi bertujuan meningkatkan konsentrasi awal serta menjaga stabilitas sisa klor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa diperlukan 13 titik re-klorinasi untuk menjaga konsentrasi sisa klor.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Disarankan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh sisa klor terhadap zat organik yang terukur dengan KMnO_4 . Hal ini penting dalam memahami kebutuhan klorin dan efisiensi klorinasi pada sistem distribusi yang mengandung zat organik yang terukur dengan KMnO_4 .
2. Dilakukan pengukuran dan analisis sisa klor pada jam minimum. Hal ini bertujuan untuk mengetahui distribusi sisa klor pada kondisi kecepatan alir yang rendah yang berpotensi meningkatnya usia air.
3. Dilakukan penelitian terkait strategi penurunan nilai koefisien *bulk*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui potensi penurunan nilai koefisien *bulk* yang merepresentasikan tingkat kestabilan sisa klor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Komala, P. S., & Andriani, Y. (2016). Kajian Kandungan Sisa Klor Di Jaringan Distribusi Penyediaan Air Minum Rayon 8 PDAM Kota Padang. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Lingkungan II*, 144–151.
- Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru. (2024). *Kota Pekanbaru dalam Angka 2024* (Vol. 20).
- Badan Standarisasi Nasional. (2006). *SNI 01-3554-2006 Cara Uji Air Minum dalam Kemasan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2024). *RSNI 7828:2024 Pengambilan Contoh Uji Air Dari Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Badawy, M. H., Peldszus, S., Che, G., Ballantyne, L., & Huck, P. M. (2025). Assessment of Chloramine Decay and Nitrification Potential Following Orthophosphate Addition in a Full-Scale Drinking Water Distribution System. *Journal of Water Process Engineering*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107510>
- Busyairi, M., Dewi, Y. P., Devita, D., & Widodo, I. (2016). Efektivitas Kaporit pada Proses Klorinasi terhadap Penurunan Bakteri coliform dari Limbah Cair Rumah Sakit Samarinda. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2), 156–162.
- Chen, C., Zhao, X., Chen, H., Li, M., Cao, L., Wang, Y., & Xian, Q. (2023). Degradation of Natural Organic Matter and Disinfection Byproducts Formation by Solar Photolysis of Free Available Chlorine. *Water Research*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120020>
- Dairi, R. H., & Sukarmin, M. (2022). Sistem Jaringan Distribusi Perpipaan Air Bersih Di Kecamatan Mawasangka Timur Kabupaten Buton Tengah. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*, XI(1), 9–7.
- Gideon, S., & Marpaung, R. (2024). Observasi dan evaluasi reaktor UV pada sistem desinfeksi pengolahan air minum dalam kemasan (Studi kasus di PT. X, Langkat). *Jurnal Sains Fisika*, 4(1), 37–45.
- Herawati, D., & Yuntarso, A. (2017). Penentuan Dosis Kaporit Sebagai Desinfektan dalam Menyisihkan Konsentrasi Ammonium pada Air Kolam Renang. *Jurnal SainHealth*, 1(2).
- Josopandojo, B., & Purnomo, A. (2020). Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 53-D58.
- Kallista, V., Winardi, & Govira, C. A. (2023). Analisis Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa). 21, 269–278. <https://doi.org/10.14710/jil.21.2.268-278>
- Komala, P. S. (2024). *Distribusi Sisa Klor Dan E. coli di Dua Kawasan District Meter Area Kota Padang Panjang*.
- Kumar, M. V. (2021). Drinking Water Treatment With Disinfection Method: A Review. In *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering* | (Vol. 8). www.ijste.org
- Lisna, F. (2021). *Analisis Kandungan Sisa Klor Dan Escherichia Coli Dalam Jaringan Distribusi Di District Meter Area (Dma) 2 Zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Kota Padang Panjang*. Universitas Andalas.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2023 Tentang Standar Tarif Pelayanan Kesehatan Dalam Penyelenggaraan Program Jaminan Kesehatan*.
- Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Novita, M. D., & Marsono, B. D. (2019). Perencanaan Sistem Distribusi Air Minum Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), D112–D117.

- Pasaribu, D. M., Suryaputra, K. F., & Ade, D. (2021). Efektivitas Daya Hambat Disinfektan Klorin terhadap Bakteri Escherichia Coli Penghasil Extended Spectrum Beta Lactamase. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 27(3), 217–222. <https://doi.org/10.36452/jkdoktmeditek.v27i3.2002>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 Tentang Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Perumdam Tirta Siak Pekanbaru. (2024). *Business Plan Perumdam Tirta Siak Pekanbaru 2024–2028*.
- Purba, R. M., Yusa, M., & Sandyavitri, A. (2024). Analisis Pelayanan Jaringan Air Bersih PDAM Tirta Siak Pekanbaru Berdasarkan Persepsi Pelanggan. *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 12(2), 181–189. <https://doi.org/10.35583/js.v12i2.258>
- Ramadhan, A. I., & Ratni, N. (2021). Analisa Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi PDAM Kabupaten Bantul dengan EPANET 2.0. *Jurnal Envirous*, 1(2).
- Ramadhani, N. R., Alim, M. S., Husin, M., & Firdausy, M. A. (2024). Analisis pH, Kekeruhan dan Jarak Air Bersih terhadap Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Pelanggan IPA 1 A. Yani PTAM Bandarmasih Zona Banjarmasin Barat. *JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, 7(2), 53–68.
- Rasyad, M., Riduan, R., & Chairul Abdi. (2021). Simulasi Sisa Klor Pada Jaringan Distribusi IPA II Pramuka, PDAM Bandarmasih. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan*, 4(1), 42–56.
- Richardson, S. D., & Kimura, S. Y. (2017). Emerging Environmental Contaminants: Challenges Facing Our Next Generation And Potential Engineering Solutions. *Environmental Technology and Innovation*, 8, 40–56. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.04.002>
- Rosmiati, Purba, D. C. S., Barus, A., & Rachmiadji, I. (2023). Pengaruh Pemakaian Klorin Terhadap Kandungan Mangan (Mn) dan Besi (Fe) pada Post-chlorinasi di PT XYZ. *Jurnal Vokasi Teknik*, 1(02), 39–43. <https://doi.org/10.12345/xxxxx>
- Shovitri, M. (2011). Apakah Breakpoint Chlorination Selalu Aplikatif Untuk Mengolah Limbah Cair Rumah Sakit? *Jurnal Purifikasi*, 12(2), 83–92.
- Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, D. C. (2015). Evaluasi keberadaan sisa klor bebas di jaringan Distribusi IPA Sungai Lutut PDAM Banjarmasin. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 33–52.
- Sumolang, O. D., Maddusa, S., & Umboh, J. M. L. (2020). Gambaran Hygiene Sanitasi Dan Kandungan Mikrobiologi Pada Depot Air Minum (DAM) di Wilayah Kerja Puskesmas Kolongan Kecamatan Kalawat Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal KESMAS*, 9(4), 34–40.
- Tatachar, A. V. (2021). Comparative Assessment of Regression Models Based On Model Evaluation Metrics. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(9), 853–860. www.irjet.net
- Yushananta, P., Markus, M., & Barus, L. (2022). Kualitas Mikrobiologi dan Pengolahan Air Minum Isi Ulang di Wilayah Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 138. <https://doi.org/10.26630/rj.v16i3.3626>
- Zhang, C., He, D., Ma, J., & Waite, T. D. (2018). Active Chlorine Mediated Ammonia Oxidation Revisited: Reaction Mechanism, Kinetic Modelling and Implications. *Water Research*, 145, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.025>
- Zhang, X., Ren, P., Zhou, J., Li, J., Li, Z., & Wang, D. (2022). Formation of Disinfection Byproducts in an Ammonia-polluted Source Water with UV/chlorine treatment Followed by Post-chlorination: A Pilot-scale Study. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102266. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102266>

LAMPIRAN A HASIL SAMPLING

Report No. 03756/ALAIAR
Date: December 12, 2024

Issuing Office:
Jl. Jend. A. Yani No. 79, Pekanbaru 28115, Indonesia
Phone/Fax: +62 761 35661848709
Email: cs.pku@sucofindo.co.id

REPORT OF SAMPLING AND ANALYSIS

PRINCIPAL : PEMBANGUNAN PERUMAHAN TIRTA MADANI, PT
Plaza PP Lantai 4
Jl. TB Simatupang No.57 RT.001 RW.004 Pasar Rebo,
Jakarta - 13760

SUBJECT : DRINKING WATER

RECEIVED DATE : 06/12/2024

REFERENCE : 513/PKU-IV/PDO-IP/2024 dated on 25/04/2024

TESTED FOR : Microbiological, Physical and Chemical Analysis
Comply to The Health Minister Regulation No.492/MENKES/IV/2010

SAMPLE DESCRIPTION : Sample was drawn by Sucofindo Laboratory dated on 06/12/2024
Sampling Method refer to SNI 8995-2021 : Metoda pengambilan contoh uji air untuk Pengujian Fisika dan Kimia

SAMPLE IDENTIFICATION : RESERVOIR

ANALYSIS DATE : 06/12/2024 up to 12/12/2024

The Attachment available is an integral part of this certificate.

This test result (i) is (are) related to the sample (s) submitted only and the report/certificate cannot be reproduced in any way, except in full context, with the prior approval in writing from Sucofindo Laboratory

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id

Dept. of Commercial 1
SUCOFINDO Fydel Setiadi

18010124001164

5066911

SCI-2023A

Attachment
To Report No. 03756/ALAIAR
Date: December 12, 2024

Page 1 of 1

Issuing Office:
Jl. Jend. A. Yani No. 79, Pekanbaru 28115, Indonesia
Phone/Fax: +62 761 35661848709
Email: cs.pku@sucofindo.co.id

REPORT OF SAMPLING AND ANALYSIS

Sample Identification : RESERVOIR

Parameter	Unit	Test Result	Threshold Limit Value *	Method *
1. The parameter which have direct connection with human healthy				
a. Microbiological :				
• Escherichia Coli	CFU/100 mL	0	0	APHA 9222 G 2023
• Total Coliform	CFU/100 mL	0	0	APHA 9222 B 2023
b. Inorganic Chemical :				
Arsenic Dissolved	mg/L	< 0.004	0.01	APHA 3030 B, 3114 B, 3114 C 2023
Fluoride	mg/L	0.135	1.5	POPKULAB/30 (Spectrofotometri)
Chromium Total	mg/L	< 0.028	0.05	APHA 3030 E, 3111 B 2023
Cadmium Dissolved	mg/L	0.002	0.003	APHA 3030 B, 3111 B 2023
Nitrite as NO ₂	mg/L	< 0.003	3	APHA 4500-NO ₂ -B 2023
Nitrate as NO ₃	mg/L	0.052	50	POPKULAB/28 (Spectrofotometri)
Cyanide	mg/L	0.001	0.07	POPKULAB/31/37 (Spectrofotometri)
Selenium Dissolved	mg/L	< 0.004	0.01	APHA 3030 B, 3114 B, 3114 C 2023
2. The parameter which have indirect connection with human healthy				
a. Physical :				
Odor	-	Odorless	Odorless	APHA 2150 B 2023
Color	TCU	1.96	15	APHA 2120 C 2023
Total Dissolved Solids	mg/L	53.4	500	APHA 2540 C 2023
Turbidity	NTU	0.380	5	APHA 2130 B 2023
Taste	-	Tasteless	Tasteless	APHA 2160 C 2023
•••Temperature (on site)	°C	27.7	Ambient Temp ± 3°C	Measured by client
b. Chemical :				
Aluminum Dissolved	mg/L	< 0.040	0.2	APHA 3030 B, 3120 B 2023
Iron Dissolved	mg/L	0.036	0.3	APHA 3030 B, 3111 B 2023
Total Hardness as CaCO ₃	mg/L	78.0	500	APHA 2340 B 2023
Chloride	mg/L	19.4	250	APHA 4500-CL-2 2023
Manganese Dissolved	mg/L	0.016	0.4	APHA 3030 B, 3111 B 2023
•••pH (on site)	-	7.11	6.5 - 8.5	Measured by client
Zinc Dissolved	mg/L	< 0.028	3	APHA 3030 B, 3111 B 2023
Sulfate	mg/L	0.01	250	APHA 4500-SO ₄ -E 2023
Copper Dissolved	mg/L	< 0.004	2	APHA 3030 B, 3111 B 2023
Ammonia	mg/L	0.058	1.5	APHA 4500-NH ₄ -F 2017
Organic Matter by KmnO ₄	mg/L	2.84	-	SNI 06-3554-2015
Free Chlorine	mg/L	0.270	-	POPKULAB/322

••• Less than the detection limit indicated
 * Standard Methods 24th Edition 2022 APHA, AWWA, WEF
 # Comply to The Health Minister Regulation No.492/MENKES/IV/2010
 • Sub-Contract to Laboratory Sucofindo - Pekanbaru
 • Method: 06/12/2024
 Note : Parameter 1 is the parameter which have direct connection with human healthy
 Parameter 2 is the parameter which have indirect connection with human healthy
 Field data at Sampling: Ambient Temperature 28 °C, Humidity 58 %

SUCOFINDO

5066911

SCI-2023A

Kualitas Air Hasil Olahan IPAM Tirta Siak Tampan pada Desember 2024

PT. PP TIRTA MADANI

KUALITAS AIR BAKU, AIR RESERVOIR
DAN AIR JARINGAN SPAM KOTA
PEKANBARU

AIR BAKU
SUNGAI SIAK

AIR BERSIH
RESERVOIR

Air Jaringan
Spam Kota
Pekanbaru

pH 5.96
warna 507 PtCo
kek 39.9 NTU

pH 7.01
warna 2 PtCo
kek 0.47 NTU

pH 7.00
warna 6 PtCo
kek 1.72 NTU

Jum, 29 Jul 2022 17:05:46

Kualitas Air Hasil Olahan IPAM Tirta Siak Tampan pada Juli 2022



PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT.LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN
JLN. MUSTIKA No. 3 A TELP. (0761) 22018 - 22318 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111
Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

No.: 0267 - 0428 / LHU / LKL-PR / V / 2024

Nama Customer : PERUMDAM TIRTA SIAK / PUSKESMAS SENAPELAN Project ID : -
Customer Name

Alamat : Jl. Jati, Pekanbaru **Personel yang dihubungi** : Welly
Address **Contact Person**

Phone/Fax : - **Phone/Fax** : 0852 05002500

Personel Pengambil Sampel : Kesling UPT, Puskesmas Senapelan **No. Laboratorium** : 0267 / 0420 AM.BK
Person of sampling **No. Lab**

Tgl/waktu pengambilan sampel : 22-04-2024/09.15 Wib **Deskripsi Sampel** : Air Minum
Date/time of sampling **Description of sample** : "PUSKESMAS SENAPELAN"

Personel penerima sampel : Joko Dwi Handayani **Tgl/waktu penerimaan sampel** : 22-04-2024/13.40 Wib
Person of sample received **Date/time of received**

No. FPPS : 0267/FPPS/LKL-PR/IV/2024 **Tanggal Pengujian** : 23 w/d 27 April 2024
Date of Analysis

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A	Fisika				
1	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
2	TDS	mg/L	113	<300	SNI 6989.27:2019
3	Kekeruhan	Skala NTU	0,9	<3	SNI 06-6989.25-2005
4	Warna	TCU	4	10	SNI 06-6989.24-2005
5	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
B	Kimia				
1	pH	-	7,1	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,201	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	<0,0012	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0031	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Klor	mg/L	0,14	0,2-0,5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	1,01	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	0,009	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0,01	SNI 6989-84:2019
C	Mikrobiologi				
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan

Kualitas Air Distribusi pada Puskesmas Senapelan



PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT.LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN
JLN. MUSTIKA No. 3 A TELP. (0761) 22018 - 22318 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111
Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

No.: 0267 - 0428 / LHU / LKL-PR / V / 2024

Nama Customer : PERUMDAM TIRTA SIAK / PUSKESMAS SENAPELAN Project ID : -
Customer Name :
Alamat : Jl. Jati, Pekanbaru Personel yang dihubungi : Welly
Address : Contact Person :
Phone/Fax : - Phone/Fax : 0852 65802598
Personel Pengambil Sampel : Kesling UPT. Puskesmas Senapelan No. Laboratorium : 0267 / 0428 AM.BK
Person of sampling : No. Lab :
Tgl/jam pengambilan sampel : 22-04-2024/09.15 Wib Deskripsi Sampel : Air Minum
Date/time of sampling : Description of sample : "PUSKESMAS SENAPELAN"
Personel penerima sampel : Joko Dwi Handayani Tgl/jam penerimaan sampel : 22-04-2024/13.40 Wib
Person of sample received : Date/time of received :
No. FPPS : 0267/FPPS/LKL-PR/IV/2024 Tanggal Pengujian : 23 s/d 27 April 2024
Date of Analysis :

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A	Fisika				
1	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
2	TDS	mg/L	113	<300	SNI 6989.27:2019
3	Kekeruhan	Skala NTU	0,9	<3	SNI 06-6989.25-2005
4	Warna	TCU	4	10	SNI 06-6989.24-2005
5	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
B	Kimia				
1	pH	-	7,1	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,201	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	<0,0012	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0031	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Khlor	mg/L	0,14	0,2-0,5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	1,01	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	0,009	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0,01	SNI 6989-84:2019
C	Mikrobiologi				
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan

Kualitas Air Distribusi pada Pelanggan (Puskesmas Senapelan)



PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN
JLN. MUSTIKA NO. 3A NO. HP/WA. +62822 2587 7963 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111
Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

No.: 0555 - 0984 / LHU / LKL-PR / VIII / 2024

Nama Customer : PDAM TIRTA SIAK PEKANBARU Project ID : -
Customer Name
Alamat : Jl. Jendral Sudirman No. 246 - Pekanbaru Personel yang dihubungi : Welly Masrizal
Address Contact Person
Phone/Fax : - Phone/Fax : 0852 - 65802598
Personel Pengambil Sampel : Welly Masrizal No. Laboratorium : 0555 / 0984 AM.BK
Person of sampling No. Lab
Tgl/jam pengambilan sampel : 30-07-2024/12.10 Wib Deskripsi Sampel : Air Minum
Date/time of sampling Description of sample Toko Andalas Sport
Jl. Sudirman
Personel penerima sampel : Desi Susanti, SST Tgl/jam penerimaan sampel : 31-07-2024/09.30 Wib
Person of sample received Date/time of received
No. FPPS : 0555/FPPS/LKL-PR/VII/2024 Tanggal Pengujian : 31 Juli s/d 05 Agust 2024
Date of Analysis

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A	Fisika				
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
2	Kekeruhan	Skala NTU	2,1	<3	SNI 06-6989.25-2005
3	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
4	Warna	TCU	2	10	SNI 06-6989.24-2005
5	TDS	mg/L	90	<300	SNI 6989.27:2019
B	Kimia				
1	pH	-	7,0	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,098	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	<0,0012	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0031	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Khlor	mg/L	0,07	0,2-0,5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	2,46	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	<0,009	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0,01	SNI 6989-84:2019
C	Mikrobiologi				
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan

1/2

F/7.8.3/LKL-PR; Rev 1; 01 Desember 2022.

Kualitas Air Distribusi pada Pelanggan (Toko Andalas)



**PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN**

JLN. MUSTIKA NO. 3A NO. HP/WA. +62822 2587 7963 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111

Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

No.: 0555 - 0982 / LHU / LKL-PR / VIII / 2024

Nama Customer Customer Name	: PDAM TIRTA SIAK PEKANBARU	Project ID	: -
Alamat Address	: Jl. Jendral Sudirman No. 246 - Pekanbaru	Personel yang dihubungi Contact Person	: Welly Masrizal
Phone/Fax	: -	Phone/Fax	: 0852 - 65802598
Personel Pengambil Sampel Person of sampling	: Welly Masrizal	No. Laboratorium No. Lab	: 0555 / 0982 AM.BK
Tgl/jam pengambilan sampel Date/time of sampling	: 30-07-2024/09.35 Wb	Deskripsi Sampel Description of sample	: Air Minum Toko Stella Ji. Cempaka
Personel penerima sampel Person of sample received	: Desi Susanti, SST	Tgl/jam penerimaan sampel Date/time of received	: 31-07-2024/09.30 Wb
No. FPPS	: 0555/FPPS/LKL-PR/VII/2024	Tanggal Pengujian Date of Analysis	: 31 Juli s/d 05 Agust 2024

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A	Fisika				
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
2	Kekeruhan	Skala NTU	0,6	<3	SNI 06-6989.25-2005
3	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
4	Warna	TCU	2	10	SNI 06-6989.24-2005
5	TDS	mg/L	48	<300	SNI 6989.27:2019
B	Kimia				
1	pH	-	7,5	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,155	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	<0,0012	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0031	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Khlor	mg/L	0,06	0,2-0,5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	2,00	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	<0,009	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0,01	SNI 6989-84:2019
C	Mikrobiologi				
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan

1/2

F/7.8.3/LKL-PR; Rev 1; 01 Desember 2022.

Kualitas Air Distribusi pada Pelanggan (Toko Stella)



PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN

JLN. MUSTIKA NO. 3A NO. HP/WA. +62822 2587 7963 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111
Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

No.: 0966 - 1770 / LHU / LKL-PR / XI / 2024

Nama_Customer : PDAM TIRTA SIAK PEKANBARU Project ID : -
Customer Name
Alamat : Jl. Jendral Sudirman No. 246 - Pekanbaru Personel yang dihubungi : Welly Masrizal
Address Contact Person
Phone/Fax : - Phone/Fax : 0852 - 65802598
Personel Pengambil Sampel : Welly Masrizal No. Laboratorium : 0966 / 1770 AM.BK
Person of sampling No. Lab
Tgl/jam pengambilan sampel : 21-11-2024/09.45 Wtb Deskripsi Sampel : Air Minum
Date/time of sampling Description of sample
Personel penerima sampel : Desi Susanti, S.ST Tgl/jam penerimaan sampel : 21-11-2024/11.08 Wtb
Person of sample received Date/time of received
No. FPPS : 0966/FPPS/LKL-PR/XI/2024 Tanggal Pengujian : 21 s/d 25 November 2024
Date of Analysis

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A	Fisika				
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
2	Kekeruhan	Skala NTU	0,2	<3	SNI 06-6989.25-2005
3	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
4	Warna	TCU	2	10	SNI 06-6989.24-2005
5	TDS	mg/L	56	<300	SNI 6989.27:2019
B	Kimia				
1	pH	-	7,5	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,017	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	0,454	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	0,004	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Khlor	mg/L	0,01	0,2-0,5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	0,67	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	0,173	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0,01	SNI 6989-84:2019
C	Mikrobiologi				
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan



PEMERINTAH PROVINSI RIAU
DINAS KESEHATAN
LABORATORIUM PENGUJI
UPT LABORATORIUM KESEHATAN DAN LINGKUNGAN
JLN. MUSTIKA NO. 3A NO. HP/WA. +62822 2587 7963 FAX. (0761) 22018 PEKANBARU 28111
Email : upt.labkesling@gmail.com

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

No.: 0555 - 0983 / LHU / LKL-PR / VIII / 2024

Nama Customer : PDAM TIRTA SIAK PEKANBARU Project ID : -
Customer Name
Alamat : Jl. Jendral Sudirman No. 246 - Pekanbaru Personel yang dihubungi : Welly Masrizal
Address Contact Person
Phone/Fax : - Phone/Fax : 0852 - 65802598
Personel Pengambil Sampel : Welly Masrizal No. Laboratorium : 0555 / 0983 AM.BK
Person of sampling No. Lab
Tgl/jam pengambilan sampel : 30-07-2024/10.35 Wib Deskripsi Sampel : Air Minum
Date/time of sampling Description of sample MCD jl. Sudirman
Personel penerima sampel : Desi Susanti, SST Tgl/jam penerimaan sampel : 31-07-2024/09.30 Wib
Person of sample received Date/time of received
No. FPPS : 0555/FPPS/LKL-PR/VII/2024 Tanggal Pengujian : 31 Juli s/d 05 Agust 2024
Date of Analysis

NO	PARAMETER	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	NILAI RUJUKAN THRESHOLD VALUE	METODE METHOD
A Fisika					
1	Bau	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	SNI 06-2413-1991
2	Kekeruhan	Skala NTU	1,2	<3	SNI 06-6989.25-2005
3	Suhu	°C	25	Suhu Udara ± 3	SNI 06-6989.23-2005
4	Warna	TCU	2	10	SNI 06-6989.24-2005
5	TDS	mg/L	60	<300	SNI 6989.27:2019
B Kimia					
1	pH	-	7,0	6,5 - 8,5	SNI 06-6989.11-2019
2	Aluminium	mg/L	0,125	0,2	SNI 06-6989.35-2005
3	Besi (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0040	0,2	SNI 6989.84:2019
4	Fluorida	mg/L	<0,0012	1,5	SNI 06.6989.29.2005
5	Kadmium(sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0031	0,003	SNI 6989.84:2019
6	Kromium valensi 6	mg/L	<0,0005	0,01	SNI 6989.84:2019
7	Mangan (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0032	0,1	SNI 6989.84:2019
8	Sisa Khlor	mg/L	0,05	0.2-0.5	USEPA
9	Nitrat sebagai N	mg/L	1,97	20	APHA 2012
10	Nitrit sebagai N	mg/L	<0,009	3	SNI 06-6989-9-2004
11	Arsen	mg/L	-	0,05	SNI 6989.84:2019
12	Timbal (sebagai logam terlarut)	mg/L	<0,0017	0.01	SNI 6989-84:2019
C Mikrobiologi					
1	E.coli	CFU/100 ml	0	0	Biakan
2	Total Coliform	CFU/100 ml	0	0	Biakan

1/2

F/7.8.3/LKL-PR; Rev 1; 01 Desember 2022.

Kualitas Air Distribusi pada Pelanggan (MCD Jl. Sudirman)

LAMPIRAN B DOKUMENTASI



Dokumentasi Uji Akurasi Alat



Dokumentasi Pengukuran Sisa Klor, Suhu, dan pH



Dokumentasi Pengujian BPC

LAMPIRAN C
DESAIN BANGUNAN RE-KLORINASI

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Denah Bangunan Reklorinasi

LEGENDA

 Beton

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| A. Check Valve | K. Chlorine Gas Leak Detector |
| B. Gate Valve | L. Static Mixer |
| C. Booster Pump | M. Sampling Point |
| D. Pressure Gauge | N. Emergency Power |
| E. Y Strainer | O. Fire Extinguisher |
| F. Pressure Gauge | P. Empty Cylinders |
| G. Chlorine Injector | Q. Full Cylinders |
| H. Chlorinator | R. Sprinkler |
| I. Backup Shut Off Ball Valve | S. Shower |
| J. Chlorine Cylinders | |

DOSEN PEMBIMBING

Alfan Purnomo, S.T. M.T.
 NIP. 19830304 200604 1 002

MAHASISWA

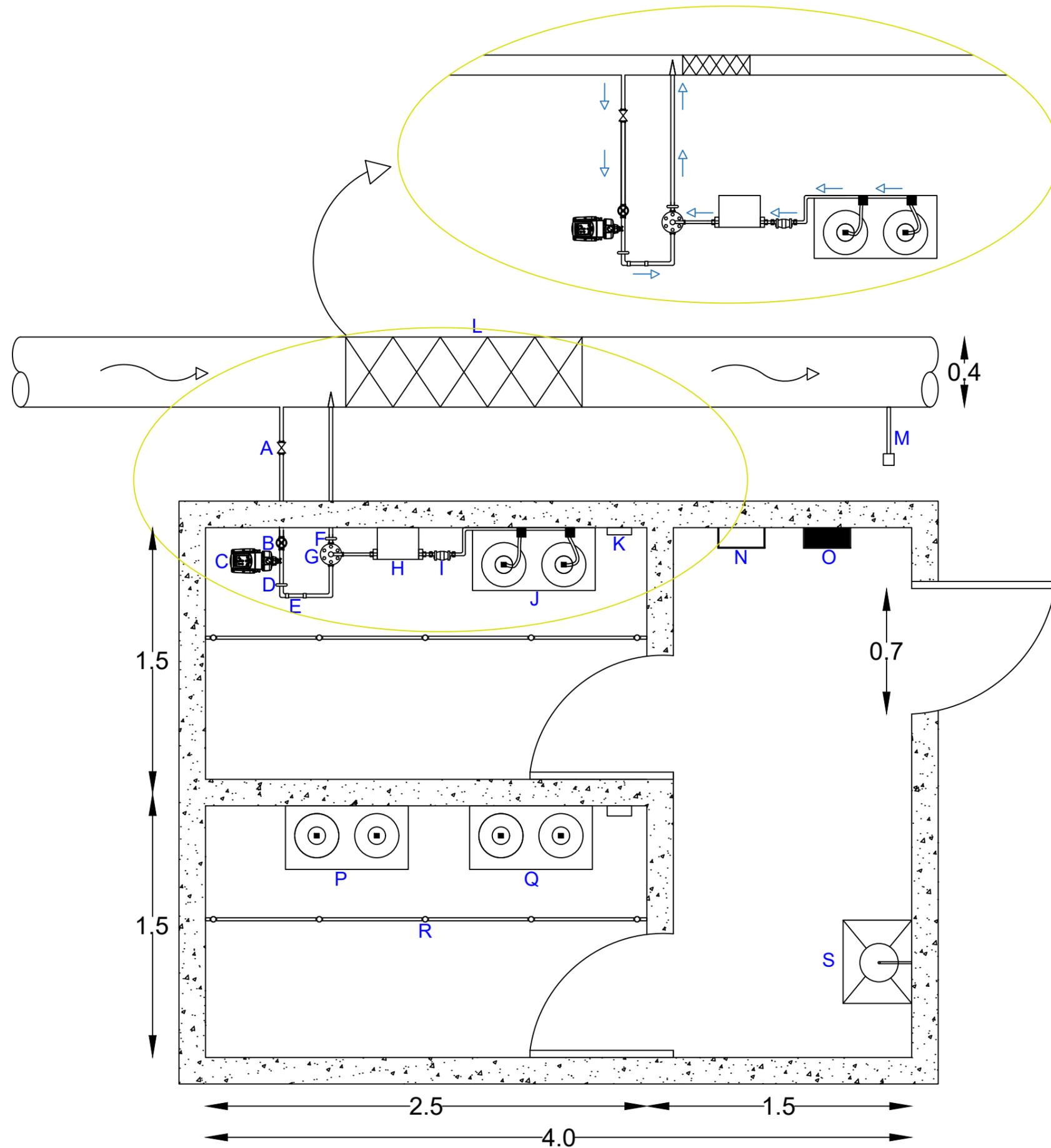
Sabela Widya Putri
 NRP. 5014211021

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

1





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Potongan Bangunan Reklorinasi

LEGENDA

 Beton

DOSEN PEMBIMBING

Alfan Purnomo, S.T. M.T.
NIP. 19830304 200604 1 002

MAHASISWA

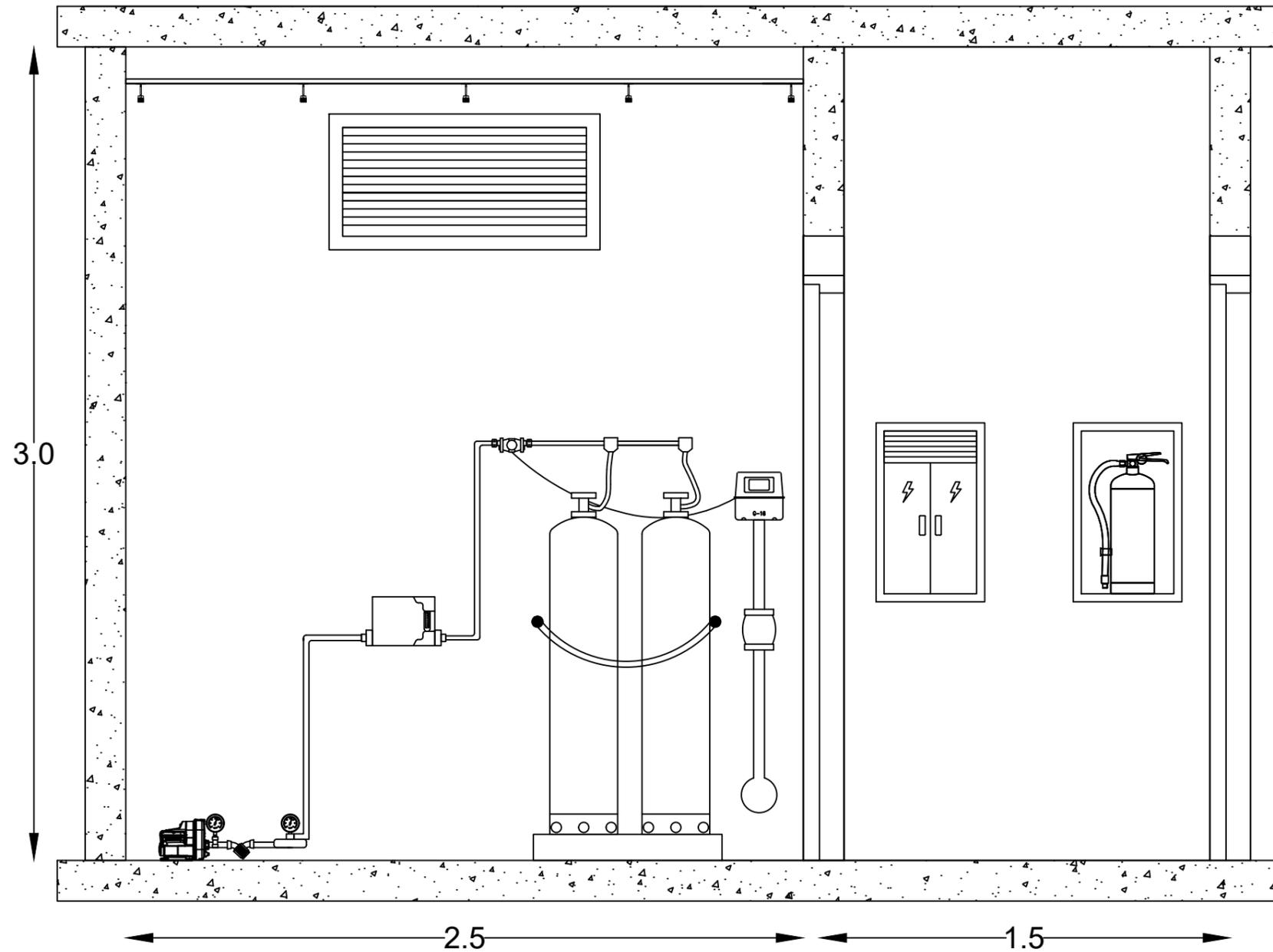
Sabela Widya Putri
NRP. 5014211021

SKALA

1 : 20

NO. GAMBAR

2



Potongan A



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL GAMBAR

Potongan Bangunan Reklorinasi

LEGENDA

 Beton

DOSEN PEMBIMBING

Alfan Purnomo, S.T. M.T.
NIP. 19830304 200604 1 002

MAHASISWA

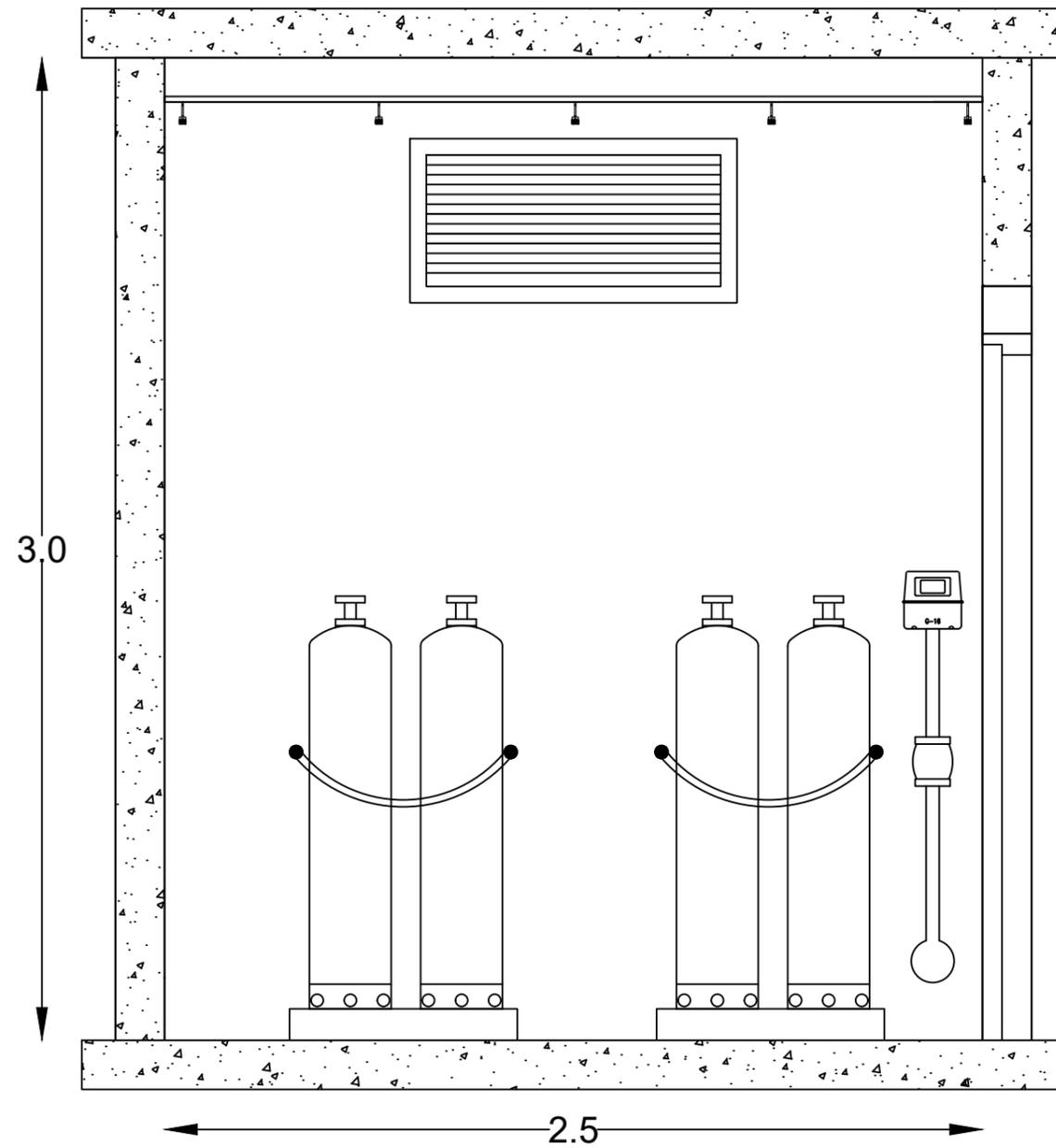
Sabela Widya Putri
NRP. 5014211021

SKALA

1 : 20

NO. GAMBAR

3



Potongan B



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Sabela Widya Putri
NRP : 5014211021
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air
Minum Zona 2 Perumdah Tirta Siak

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	22-07-2025	- epanet eksisting - Analisis Klor IPAM	
2.	05-05-2025	- Asistensi pengerjaan laporan	
3.	28-05-2025	- Asistensi bab 4	
4.	03-06-2025	- revisi urutan rancangan bab 4	
5.	05-06-2025	- asistensi gambar ruang re-kloninasi	
6.	13-06-2025	- asistensi bangunan re-kloninasi	
7.	19-06-2025	- asistensi laporan - asistensi gambar	
8.	20-02-2025	- asistensi bentuk acara	

Surabaya,
Dosen Pembimbing

Alfan Purnomo, S.T., M.T.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 16 Mei 2025

Nilai TOEFL : 483

Pukul : 13.00 - 14.00

Lokasi : Ruang Sidang

Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak

Nama : Sabela Widya Putri

Tanda Tangan

NRP. : 5014211021

Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Analisis dibuat berurutan sesuai proses
2.	Judul sub.bab 4.4 diperbaiki
3.	Penulisan sitas: (number = penulis → dihilangkan)

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Alfan Purnomo, S.T., M.T.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 16 Mei 2025
Pukul : 13.00 - 14.00
Lokasi : Ruang Sidang
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak
Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1	Sumber: Penulis → hapus.
2	Tujuan no 2: desain sisa klor ?
3	Subbab pada Bab 4 disusun ulang.
4	Subbab 4.4.2 → Tidak jelas.
5	Penulisan sitasi diperbaiki.
6	Kesimpulan diperbaiki

Almasduqi
27/5

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing : Alfan Purnomo, S.T., M.T.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 16 Mei 2025
Pukul : 13.00 - 14.00
Lokasi : Ruang Sidang
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak
Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1	Tujuan diperbaiki
2	sub bab IV disesuaikan dengan judul
3	Disain sisa klor → tambahkan rumus rekonsentrasi per liter
4	Sisa klorin dalam air disebabkan apa saja?
5	penyusunannya spt apa C vs L
6	hal 46 & 47 di titik man?
7	Pada peta klorin tambahkan titik pemantauan
8	penyebab klorin di air
9	sumber: paku → dan paku

ok 12/6 2025
[Signature]

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

Dosen Pembimbing : Alfian Purnomo, S.T., M.T.

[Signature]
[Signature]



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 1 Juli 2025
Pukul : 11.00-12.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak

Nilai TOEFL 483

Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1.	Urutan kata pengantar diperbaiki
2.	"Ranting sisa klor x - y terletak pada pipa di area warna"
	12/7 2025

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. Harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Alfan Purnomo, S.T., M.T.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 1 Juli 2025
Pukul : 11.00-12.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak

Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<p>Cukup.</p> <p>Alifan Purnomo 12/7</p>

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Alfan Purnomo, S.T., M.T.

(Alifan Purnomo)
(Alifan Purnomo)



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 1 Juli 2025
Pukul : 11.00-12.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak

Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Sebutkan jenis ² desinfektan
2.	menjaga PDM banyak mengumpul etanol
3.	Trikalominerhan,
4.	DMA vs sisa klor
5.	yg mempengaruhi sisa klor
6.	$Cl_2 \rightleftharpoons HOCl + OCl^-$ reaksi
7.	Cl_2 menyeleni dari apa saja.
8.	menghitung heb. klor

14/07 2025
B

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Dosen Pembimbing Alfan Purnomo, S.T., M.T.

(*[Signature]*)
(*[Signature]*)



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 1 Juli 2025
Pukul : 11.00-12.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Studi Kandungan Sisa Klor pada Jaringan Distribusi Air Minum Zona 2 Perumdam Tirta Siak

Nama : Sabela Widya Putri
NRP. : 5014211021
Topik : Penelitian Laboratorium atau Penelitian Lapangan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Sistem Re-klorinasi ^{penempatan} airannya apa dan berapa estimasi biaya jika ditanggung untungnya?
2	Apakah ada SOP Re-klorinasi? $\left\{ \begin{array}{l} \text{otomatis?} \\ \text{manual?} \end{array} \right.$
3	Haril analisis stimulasi & penempatan re-klorinasi dijabarkan.
*	Beberapa catatan ada di draft/buku.

14/7'25.
/

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Achmad Muzakky, S.T., M.Sc.

(*Achmad Muzakky*)

Dosen Pembimbing Alfian Purnomo, S.T., M.T.

(*Alfian Purnomo*)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Sabela Widya Putri atau biasa disapa Bela. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Penulis lahir pada 17 Maret 2023 di Pekanbaru, Riau. Pendidikan formal penulis dimulai di SD Negeri 004 Sekupang Kota Batam (2009-2015), SMP Negeri 3 Kota Batam (2015-2018), dan SMA Negeri 1 Kota Batam dengan peminatan MIPA (2018-2021). Pada tahun 2021, penulis lolos pada Seleksi Nasional Penerimaan Mahasiswa Baru (SNMPTN) dan diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Lingkungan FT-SPK ITS Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti dan turut serta menjadi panitia dalam beberapa kegiatan yang dilaksanakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS. Penulis aktif bergabung pada organisasi forum daerah Mahasiswa Kepulauan Riau selama 2 periode. Pada tahun 2023, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) dengan tema pengelolaan sampah. Pada tahun 2024, penulis berkesempatan menjalani magang di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Batam dengan topik Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Pada tahun yang sama, penulis juga berkesempatan melakukan Kerja Praktik di Badan Pengusahaan Batam (BP Batam) dengan topik Sistem Distribusi Air Minum (SDAM). Seluruh perjalanan yang ditempuh selama menjadi mahasiswa menjadi bekal penting dalam mengembangkan kompetensi sebagai calon profesional di bidang teknik lingkungan. Jika terdapat pertanyaan, saran, atau hal yang ingin didiskusikan lebih lanjut, penulis dapat dihubungi melalui alat email sabelaawp@gmail.com.