

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

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada
Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Andalas



**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KANDUNGAN SISA KLOR DAN *ESCHERICHIA COLI* DALAM JARINGAN DISTRIBUSI DI *DISTRICT METER AREA (DMA) 2* BUKIT SURUNGAN PERUSAHAAN UMUM DAERAH (PERUMDA) AIR MINUM KOTA PADANG PANJANG

Nama : Fatma Lisna

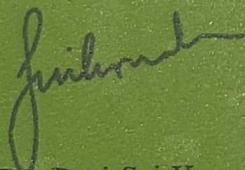
NIM : 1710941025

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 9 November 2021

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Kopembimbing,



Dr. Puti Sri Komala
NIP. 196211281997022001



Budhi Primasari, M.Sc
NIP. 197207311997022001

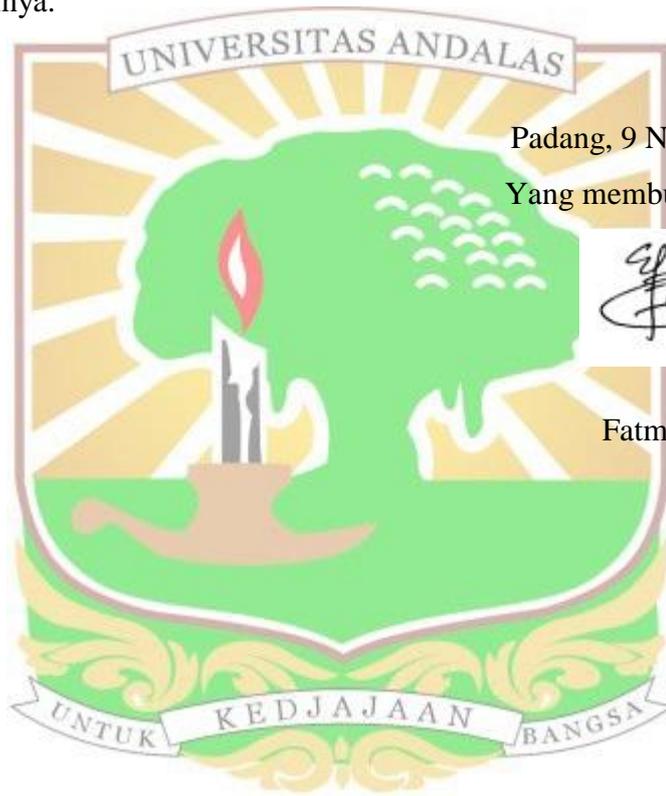
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan,



Rizki Aziz, Ph.D
NIP. 197610312005011001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang ditulis dengan judul: **Analisis Kandungan Sisa Klor Dan *Escherichia Coli* dalam Jaringan Distribusi di District Meter Area (Dma) 2 Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Kota Padang Panjang** adalah benar hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan tiruan hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.



Padang, 9 November 2021

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fatma Lisna', is placed over the right side of the logo.

Fatma Lisna

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebaran sisa klor dan *Escherichia coli* serta membandingkan kadar sisa klor dan tekanan antara hasil pengukuran di lapangan dengan software Epanet 2.2. Selain itu hubungan sisa klor terhadap *Escherichia coli*, jarak, suhu, pH dan tekanan di jaringan distribusi juga dievaluasi. Jaringan distribusi yang ditinjau adalah jaringan pada DMA 2 zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang dengan 6 titik lokasi pengamatan. Pengamatan penurunan sisa klor terhadap waktu dilakukan pada outlet terdekat dengan reservoir untuk mendapatkan nilai koefisien reaksi bulk (K_b) dan koefisien reaksi wall (K_w) dihitung dengan menggunakan uji Root Mean Square Error (RMSE). Perbandingan hasil simulasi sisa klor dan tekanan dengan uji Root Mean Square Error (RMSE) untuk melihat kesesuaian hasil data simulasi software Epanet terhadap pengukuran lapangan. Analisis korelasi dilakukan dengan metode korelasi Pearson dan Rank Spearman. Koefisien reaksi bulk dan koefisien wall yang didapatkan masing masing bernilai 0,16 dan 0,10. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dari dosis yang diberikan kadar sisa klor belum memenuhi pada dua lokasi terjauh dari reservoir yaitu berada pada nilai di bawah persyaratan 0,2 mg/L. Sisa klor dan nilai tekanan hasil pengukuran di lapangan dan software Epanet mempunyai nilai RMSE masing masing adalah 0,12 dan 0,47. Nilai RMSE tersebut menunjukkan kesesuaian hasil data pengukuran lapangan yang mendekati hasil software Epanet. Hasil analisis korelasi menunjukkan parameter jarak dengan korelasi sangat kuat, pH, suhu dan tekanan dengan korelasi kuat, dan *Escherichia coli* tidak berkorelasi terhadap sisa klor.

Kata Kunci : Epanet 2.2, *Escherichia coli*, Reaksi bulk, Reaksi wall, Sisa klor.



KATA PENGANTAR



Alhamdulillahillahirabbill'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat beserta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Kandungan Sisa Klor dan *Escherichia Coli* dalam Jaringan Distribusi di District Meter Area (DMA) 2 Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang**. Shalawat beriringan salam penulis sampaikan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan dalam memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Penyelesaian Tugas Akhir ini dibantu oleh banyak pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Orang tua tercinta Bapak Muchlis dan Ibu Erni beserta kakak Silvia Yunita yang selalu memberikan semangat, motivasi serta pengorbanan dan doa-doa yang tulus dan tiada henti demi keberhasilan Penulis;
2. Ibu Dr. Puti Sri Komala dan ibu Budhi Primasari, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam memberikan ilmu, saran, bimbingan dan dukungan yang sangat berharga bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Denny Helard Dr.Eng dan Bapak Zulkarnaini Dr.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun kepada Penulis;
4. Ibu Tivany Edwin, M.Eng selaku Koordinator Tugas Akhir dan Ketua Prodi Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah membantu memberikan arahan selama menjalani setiap tahapan Tugas Akhir;
5. Bapak Rizki Aziz, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas;
6. Bapak dan Ibu dosen beserta karyawan-karyawati Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas, serta staf pengajar yang

berada di Universitas Andalas yang telah mengajarkan dan membantu penulis dengan ikhlas dalam proses menuntut ilmu di bangku perkuliahan;

7. Ibu Syofni S.Si selaku analis Laboratorium Air dan ibu Nurhasmi,SP selaku analis Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan yang telah memberikan bantuan serta dukungan selama melakukan penelitian untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
8. Bapak/Ibu karyawan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang terutama Bidang Perencanaan (Pak Wahyu, Uda Rahmat, Pak Hafinal, dan Ayah) yang telah meluangkan waktu dan membantu penulis dalam kelengkapan data-data terkait Tugas Akhir;
9. Rekan seperjuangan Tugas Akhir Ratika Elga Putri dan Muhammad Fadel Alfandra yang saling membantu, berbagi ilmu, memberikan saran serta saling menyemangati sejak awal pengerjaan Tugas Akhir;
10. Rekan kos (Mals, Gus, Debay, Mits) dan Rekan Brazil (Besti, Mitus, Nana, Ranney, Farel dan Deva) yang sudah kebersamai dan saling membantu sejak awal perkuliahan.
11. Teman-teman seperjuangan EVEREST sebagai keluarga yang telah menemani sejak awal perkuliahan hingga tahun akhir, semua bantuan dan kesempatan yang telah diberikan mengajarkan banyak hal serta sudut pandang baru dalam menyelesaikan permasalahan;
12. Rekan-rekan Tim Asisten Laboratorium Air yang telah menemani dan bekerja sama dalam melaksanakan tanggung jawab di Laboratorium Air;
13. Uda, uni, rekan-rekan dan adik-adik anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah memberikan dukungan kesempatan dan pengalaman kepada Penulis dalam mengasah *hard skill* maupun *soft skill* selama berkuliah.
14. Semua pihak yang turut membantu Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis menerima segala bentuk kritik dan saran demi kesempurnaan laporan ini dan perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan yang lebih baik, Amin ya Robbal Alamin.

Padang, November 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fatma Lisna', enclosed within a circular flourish.

Fatma Lisna

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI.....	i
-----------------	---

DAFTAR TABEL.....	v
-------------------	---

DAFTAR GAMBAR.....	vii
--------------------	-----

DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
----------------------	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
--------------------------	---

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
---------------------------------------	---

1.2.1 Maksud Penelitian.....	4
------------------------------	---

1.2.2 Tujuan Penelitian	4
-------------------------------	---

1.3 Manfaat Penelitian	4
------------------------------	---

1.4 Ruang Lingkup.....	4
------------------------	---

1.5 Sistematika Penulisan.....	5
--------------------------------	---

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Persyaratan Air Minum	7
--	---

2.1.1 Persyaratan Kualitas Air Minum.....	7
---	---

2.1.2 Persyaratan Kuantitas Air Minum.....	7
--	---

2.1.3 Persyaratan Kontinuitas Air Minum	10
---	----

2.1.4 Persyaratan Tekanan Air Minum	10
---	----

2.2 Sistem Penyediaan Air Minum	11
---------------------------------------	----

2.3 Jaringan Distribusi Air Minum	12
---	----

2.3.1 Sistem Pengaliran Air	13
-----------------------------------	----

2.3.2 Reservoir Distribusi	13
----------------------------------	----

2.3.3 Perpipaan Distribusi.....	13
---------------------------------	----

2.3.4 Hidrolika Perpipaan Distribusi	16
--	----

2.4 Disinfeksi Air Minum	19
--------------------------------	----

2.5 Klorin	20
------------------	----

2.5.1 Jenis Klor	21
------------------------	----

2.5.2 Klorinasi.....	22
----------------------	----

2.5.3 Kinetika Peluruhan dan Kinetika Penyisihan Mikroorganisme	27
2.6 Bakteri <i>Coliform</i>	30
2.6.1 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri <i>Coliform</i>	32
2.6.2 Analisis Uji Metode Most Probable Number (MPN).....	33
2.6.3 Tahapan Uji MPN.....	33
2.6.4 Dampak Bakteri <i>Eschericia coli</i>	34
2.7 Aplikasi <i>EPANET</i> 2.2 dalam Analisa Jaringan Distribusi	36
2.8 <i>District Meter Area</i> (DMA).....	37
2.9 PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang	39
2.9.1 Sejarah Singkat PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang	39
2.9.2 Daerah Pelayanan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.....	40
2.9.3 Sumber Air Baku dan Bangunan Penangkap	47
2.9.4 Sistem Pengolahan	48
2.9.5 Kualitas Air	49
2.10 Metode Statistik.....	50
2.10.1 Uji Normalitas.....	50
2.10.2 Analisis Korelasi	51
2.10.3 Statistical Product and service solutions (SPSS)	52
2.10.4 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	52
2.11 Penelitian Terdahulu.....	53
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Umum	55
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	55
3.3 Tahapan Penelitian	57
3.3.1 Studi Literatur.....	57
3.3.2 Studi Pendahuluan.....	57
3.3.3 Pengumpulan Data Sekunder	60
3.3.3.1 Data Jaringan Distribusi Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.....	60
3.3.3.2 Data Fluktuasi Air pada Reservoir.....	60
3.3.3.3 Data Pemakaian Pelanggan	61
3.3.3.4 Data Kualitas Air Reservoir Bukit Surungan.....	61
3.3.4 Pengumpulan Data Primer.....	61

3.3.4.1 Pengambilan Sampel Air	62
3.3.4.2 Pengukuran Tekanan Pipa	62
3.3.4.3 Pengukuran Sisa Klor	63
3.3.4.4 Pengukuran pH	63
3.3.4.5 Pengukuran Suhu	64
3.3.4.6 Pengukuran Sisa Klor untuk Koefisien <i>Bulk</i> dan Koefisien <i>Wall</i>	64
3.3.4.7 Analisis <i>Escherichia coli</i>	65
3.3.5 Analisis Data dan Pembahasan Hasil	65
3.3.5.1 Penyebaran Sisa Klor di Jaringan Distribusi	65
3.3.5.2 Pola Pemakaian Air	65
3.3.5.3 Debit Pemakaian Air (<i>Base Demand</i>)	66
3.3.5.4 Perhitungan Koefisien <i>Bulk</i>	66
3.3.5.5 Perhitungan Koefisien <i>Wall</i>	67
3.3.5.6 Perbandingan Terhadap Sisa Klor Dan Tekanan Hasil Simulasi <i>Software Epanet 2.2</i> Dengan Pengukuran di Lapangan	67
3.3.5.7 Hubungan Jarak terhadap Kadar Sisa Klor	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Umum	69
4.2 Fluktuasi dan Pola Pemakaian Air DMA 2 Bukit Surungan	69
4.3 Pelanggan dan Debit Konsumsi	73
4.4 Simulasi Hidrolis Jaringan Distribusi	74
4.4.1 Tekanan (P)	74
4.4.2 Kecepatan	74
4.5 Penyebaran Sisa Klor di Jaringan Distribusi	77
4.5.1 Koefisien Reaksi <i>Bulk</i>	78
4.5.2 Koefisien Reaksi <i>Wall</i>	79
4.6 Analisis Perbandingan Terhadap Sisa Klor Dan Tekanan Hasil Simulasi <i>Software Epanet 2.2</i> dengan Pengukuran di Lapangan	85
4.7 Analisis Pengaruh dan Hubungan suhu, pH, Tekanan, Jarak dan <i>Escherichia coli</i> Terhadap Sisa Klor	87
4.7.1 Suhu	87
4.7.2 pH	90
4.7.3 Tekanan	92

4.7.4 Jarak	94
4.7.5 Bakteri <i>Escherichia coli</i>	96
4.8 Analisis Pengaruh Parameter Terhadap Sisa klor	97
4.8 Analisis Hubungan Parameter Terhadap Sisa klor	98
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum.....	8
Tabel 2.2 Kebutuhan Air Per Wilayah.....	9
Tabel 2.3 Kriteria Sistem Distribusi.....	10
Tabel 2.4 Nilai Koefisien Kekasaran Pipa.....	18
Tabel 2.5 Jenis dan Sifat Bahan Disinfeksi.....	22
Tabel 2.6 Nilai CT untuk Penyisihan Bakteri 99,9% (3log).....	27
Tabel 2.7 Nilai CT untuk Penyisihan Bakteri 90% (1log).....	28
Tabel 2.8 Nilai CT untuk Penyisihan Virus untuk pH 6-9 (1log).....	29
Tabel 2.9 Reservoir Pelayanan PDAM Kota Padang Panjang.....	44
Tabel 2.10 Data Pipa pada Jaringan Distribusi DMA 2.....	45
Tabel 2.11 Jumlah Pelanggan Masing-masing Zona Pelayanan.....	46
Tabel 2.12 Unit IPA PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.....	48
Tabel 2.13 Karakteristik Air Reservoir Bukit Surungan.....	49
Tabel 2.14 Interpretasi Nilai r	52
Tabel 2.15 Penelitian Terdahulu.....	54
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	55
Tabel 3.2 Lokasi <i>Sampling</i>	60
Tabel 3.3 Interpretasi Nilai r	68
Tabel 4.1 Rata-Rata Fluktuasi Pemakaian Reservoir DMA 2 Bukit Surungan.....	71
Tabel 4.2 Rekapitulasi Pemakaian Air Oleh Pelanggan Per Node/Junction.....	73
Tabel 4.3 Data Perhitungan Koefisien <i>Bulk</i> pada Pipa.....	78
Tabel 4.4 Data Perhitungan Koefisien <i>Wall</i> pada Pipa.....	79
Tabel 4.5 Hasil Simulasi <i>Software Epanet</i>	84
Tabel 4.6 Perbandingan Sisa Klor dan Tekanan.....	85
Tabel 4.7 Nilai RMSE Sisa Klor dan Tekanan.....	85
Tabel 4.8 Uji Normalitas Parameter.....	87
Tabel 4.9 Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor.....	89
Tabel 4.10 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor.....	91
Tabel 4.11 Hubungan Tekanan Terhadap Sisa Klor.....	94
Tabel 4.12 Hubungan Jarak Terhadap Sisa Klor.....	95
Tabel 4.13 Hubungan <i>Escherichia coli</i> Terhadap Sisa Klor.....	97

Tabel 4.14 Nilai Pengaruh Parameter Terhadap Sisa Klor.....98
Tabel 4.15 Nilai Korelasi Parameter Terhadap Sisa Klor98



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Sistem Cabang.....	14
Gambar 2.2 Bentuk Sistem Gridiron.....	15
Gambar 2.3 Bentuk Sistem Loop.....	16
Gambar 2.4 Breakpoint Chlorination.....	24
Gambar 2.5 Grafik Pengaruh suhu dan pH pada Fraksi Klor Bebas	25
Gambar 2.6 Pembagian Jaringan Distribusi ke dalam DMA.....	38
Gambar 2.7 Peta Wilayah SPAM PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang	41
Gambar 2.8 Skema Transmisi-Distribusi Zona Bukit Surungan.....	42
Gambar 2.9 Peta Jaringan Distribusi Zona Bukit Surungan.....	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	56
Gambar 3.2 Daerah Penelitian DMA 2 Zona Bukit Surungan.....	58
Gambar 3.3 Lokasi Sampling pada DMA 2 Zona Bukit Surungan.....	59
Gambar 3.4 Pengambilan Sampel Air Analisis Escherichia coli.....	62
Gambar 3.5 Pemasangan Alat Manometer.....	63
Gambar 3.6 Pengukuran Tekanan dengan Manometer.....	63
Gambar 3.7 Pengisian Indikator <i>Chlorine Free</i> DPD.....	63
Gambar 3.8 Pengukuran Sisa Klor.....	63
Gambar 3.9 Pengukuran pH.....	64
Gambar 3.10 Pengukuran Suhu.....	64
Gambar 3.11 Diagram Penurunan Konsentrasi Klor.....	67
Gambar 4.1 Fluktuasi Sampling Ke-1.....	69
Gambar 4.2 Fluktuasi Sampling Ke-2.....	69
Gambar 4.3 Fluktuasi Sampling Ke-3.....	70
Gambar 4.4 Fluktuasi Sampling Ke-4.....	70
Gambar 4.5 Fluktuasi Sampling Ke-5.....	70
Gambar 4.6 Fluktuasi Sampling Ke-6.....	70
Gambar 4.7 Fluktuasi Sampling Ke-7.....	70
Gambar 4.8 Fluktuasi Rata-Rata.....	70

Gambar 4.9 Pola Pemakaian Air Berdasarkan Pengukuran pada Outlet Reservoir Selama 24 Jam.....	72
Gambar 4.10 Nilai Tekanan Simulasi <i>Software Epanet</i>	75
Gambar 4.11 Nilai Kecepatan Simulasi <i>Software Epanet</i>	76
Gambar 4.12 Kadar Sisa Klor Hasil Pengukuran di Jaringan Distribusi.....	77
Gambar 4.13 Penurunan Sisa Klor Terhadap Waktu.	78
Gambar 4.14 Nilai Sisa Klor Simulasi <i>Software Epanet</i>	81
Gambar 4.15 <i>Countur Plot</i> Penyebaran Sisa Klor pada DMA 2 Bukit Surungan.....	82
Gambar 4.16 Simulasi <i>Water Age</i> dengan <i>Epanet</i> pada DMA 2 Bukit Surungan.....	83
Gambar 4.17 Diagram Sisa Klor Simulasi dan Observasi.....	86
Gambar 4.18 Diagram Tekanan Simulasi dan Observasi.....	86
Gambar 4.19 Rata-Rata Suhu pada Lokasi Sampling.	88
Gambar 4.20 Pengaruh Suhu Terhadap Sisa Klor.....	88
Gambar 4.21 Rata-Rata pH pada Lokasi Sampling.....	90
Gambar 4.22 Pengaruh pH Terhadap Sisa Klor.....	90
Gambar 4.23 Rata-Rata Tekanan pada Lokasi Sampling.....	92
Gambar 4.24 Pengaruh Tekanan Terhadap Sisa Klor.....	93
Gambar 4.25 Pengaruh Jarak Terhadap Sisa Klor.....	94
Gambar 4.26 Kandungan <i>Escherichia coli</i> pada Lokasi Sampling.....	96



DAFTAR LAMPIRAN

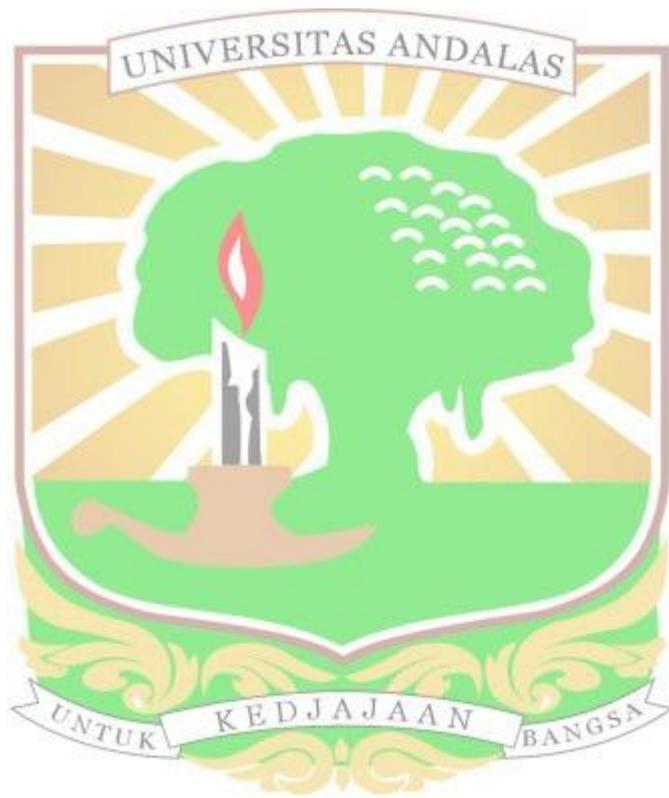
LAMPIRAN A Peraturan

LAMPIRAN B Data Pelanggan DMA 2 Bukit Surungan, Data Fluktuasi dan Pola Pemakaian air, Data Debit Masing-Masing *Junction*

LAMPIRAN C Hasil Pengukuran Lapangan

LAMPIRAN D Langkah Pengoperasian *Epanet*, Hasil Uji *Software Epanet*, dan Langkah uji MPN

LAMPIRAN E Dokumentasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan air minum yang memenuhi standar kualitas dan kuantitas semakin meningkat. Salah satu persyaratan air minum yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Republik Indonesia No. 492/Menkes/SK/IV/2010 adalah parameter mikrobiologi dengan indikator kandungan bakteri *Escherichia coli*. Kandungan bakteri *Escherichia coli* yang harus dipenuhi dalam air minum yaitu sebanyak 0/100 ml sampel (Permenkes, 2010).

Pencemaran air oleh mikroorganisme dapat terjadi pada sumber air baku, ataupun terjadi pada saat pengaliran air olahan dari pusat pengolahan ke konsumen. Disinfeksi merupakan metode yang digunakan untuk membunuh mikroorganisme patogen yang berasal dari instalasi pengolahan atau yang masuk ke dalam jaringan sistem distribusi (Ali, 2010). Proses disinfeksi yang banyak digunakan adalah klorinasi karena efektif mengurangi dan membunuh mikroorganisme patogen. Sumber klor yang umumnya digunakan sebagai desinfektan adalah kaporit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) karena lebih murah dan mudah didapat (Setiawan dkk, 2013).

Kadar sisa klor pada jaringan distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Republik Indonesia No. 736/Menkes/Per/VI/2010 yaitu maksimal 1 mg/L di *outlet* reservoir dan 0,2 mg/L pada titik terjauh distribusi. Kandungan sisa klor yang rendah menyebabkan berkembangnya bakteri penyebab *Waterborne diseases* (Hermiyanti dan Wulandari, 2017). Pada sisi lain, jika kandungan sisa klor berlebihan dapat menimbulkan rasa, bau, serta terbentuknya *Trihalomethans* yaitu senyawa yang bersifat karsinogenik dan toksik terhadap pengguna air (Hasan, 2006).

Reaksi klor dalam air akan menghasilkan ion hipoklorit (OCl^-) dan asam hipoklorit (HOCl) yang merupakan sisa klor aktif dan bersifat toksik bagi mikroorganisme. Asam hipoklorit (HOCl) lebih efisien daripada ion hipoklorit

(OCL) sebagai desinfektan. Asam hipoklorit (HOCl) dapat merusak struktur sel bagian dinding sel, selaput plasma, protoplasma, nukleoid dan DNA mikroorganisme yang terdapat dalam air (Hansen dkk,2013). Jumlah Asam hipoklorit (HOCl) dapat dikontrol oleh nilai pH dan suhu. Klorinasi yang efektif membutuhkan pH mendekati netral (7-7,5) dan suhu tidak melebihi 25°C (Achmit dkk, 2018). Suhu lebih besar dari 30°C menyebabkan daya disinfeksi klor menurun dan tidak efektif dalam membunuh bakteri yang masuk selama proses distribusi (Hermiyanti dan Wulandari, 2017). Suhu mempengaruhi reaksi antara klorin dengan air dan meningkatkan nilai koefisien peluruhan klor sehingga kadar klor mengalami penurunan (Avilaa dkk, 2020).

Penurunan konsentrasi klor dapat terjadi akibat tekanan dan jarak. Shamsaei (2013) pada penelitiannya membuktikan bahwa tekanan memiliki hubungan langsung dengan sisa klor dimana semakin besar tekanan maka penurunan sisa klor akan semakin meningkat. Berdasarkan penelitian Devarakonda (2010) dalam pipa loop, klorin mengalami penurunan seiring dengan pertambahan jarak akibat pengaruh kombinasi peluruhan massal (*bulk*) dan dinding pipa (*wall*). *Bulk reaction* merupakan pengurangan konsentrasi sisa klor akibat reaksi dengan komponen organik dan mikroorganisme yang ada dalam pipa, amonia membentuk kloramin, serta oksidasi besi dan mangan yang ada dalam air. *Pipe wall reaction* merupakan reaksi pengurangan konsentrasi sisa klor karena reaksi dengan dinding pipa akibat lapisan biofilm dan korosi pada pipa (Mays, 2000). Reaksi tersebut berguna dalam analisis kualitas air pada jaringan distribusi air minum dengan bantuan program *Environmental Protection Agency Network (Epanet)*.

Program *Epanet* adalah sebuah program komputer/model yang dapat menggambarkan pergerakan hidrolis dan kondisi kualitas air yang mengalir pada pipa distribusi. Program ini dapat membantu dalam menganalisis kondisi tekanan air, aliran air pada pipa, serta penyebaran konsentrasi bahan kimia seperti klor selama pengaliran di dalam pipa (Rossman, 2000). *Software Epanet* digunakan sebagai program monitorong sistem perpipaan distribusi pada suatu perusahaan air minum.

Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Kota Padang Panjang sebagai penyelenggara Sistem Penyediaan Air Minum dituntut untuk dapat memenuhi kriteria penyediaan air minum yang mampu menjamin kualitas, kuantitas dan kontinuitas pendistribusian air minum. PERUMDA ini telah menerapkan Zona Air Minum Prima (ZAMP) untuk wilayah pelayanan Silaing Bawah dan pengembangan menuju ZAMP untuk wilayah lainnya termasuk DMA 2 Bukit Surungan. ZAMP merupakan zona/wilayah khusus yang dirancang sebagai wilayah air dengan kualitas siap minum. Jaringan distribusi Zona Bukit Surungan merupakan kawasan yang menerapkan metode *District Meter Area* (DMA).

District Meter Area (DMA) merupakan daerah yang memiliki meter induk yang mencatat aliran yang masuk pada suatu wilayah dan mempunyai batas-batas untuk memantau pengendalian tekanan, kualitas air, dan kehilangan air (BPSDM,PU 2018). Kriteria sistem jaringan yang disyaratkan harus bisa menjaga kestabilan pengaliran selama 24 jam (kontinuitas), mempertahankan sisa klor minimal 0,2 ppm (kualitas) serta dapat mempertahankan tekanan aliran (kuantitas) minimal 0,5 bar pada pipa pelayanan pelanggan (BPPSPAM,2020). Namun, belum adanya pengukuran serta pelaporan kinerja sistem jaringan *District Meter Area* (DMA) 2 khususnya sisa klor dan tekanan sehingga diperlukan kajian lebih lanjut agar efektivitas kawasan ini dapat terukur keberhasilannya.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kadar sisa klor dan kandungan bakteri *Escherichia coli* pada wilayah *District Meter Area* (DMA) 2 Zona Bukit Surungan. Selanjutnya, analisis kadar sisa klor dan tekanan menggunakan *Software Epanet* yang dibandingkan dengan pengukuran di lapangan serta analisis hubungan suhu, pH, tekanan, jarak dan *Escherichia coli* terhadap kadar sisa klor. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi informasi bagi konsumen dan dapat menjadi acuan bagi perusahaan air minum dalam peningkatan kualitas distribusi air kepada pelanggan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.2.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian tugas akhir ini adalah menguji keakuratan simulasi *software Epanet* yang dibandingkan dengan pengukuran lapangan untuk mendapatkan gambaran kandungan sisa klor serta analisis hubungan suhu, pH, tekanan, jarak dan *Escherichia coli* terhadap kandungan sisa klor pada jaringan distribusi *District Meter Area* (DMA) 2 zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain adalah:

1. Menganalisis penyebaran sisa klor pada jaringan distribusi DMA 2 Bukit Surungan menggunakan *software Epanet 2.2*.
2. Membandingkan kadar sisa klor dan nilai tekanan antara hasil pengukuran di lapangan dengan *software Epanet 2.2*.
3. Menganalisis hubungan sisa klor terhadap suhu, pH, tekanan, jarak dan *Escherichia coli* pada jaringan distribusi *District Meter Area* (DMA) 2 Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Sebagai data acuan bagi pihak PERUMDA Air Minum Kota Padang dalam meningkatkan kualitas pengelolaan air sesuai dengan baku mutu yang dipersyaratkan.
- b. Pihak PERUMDA Air Minum Kota Padang dapat memenuhi kriteria minimum yang harus dipatuhi dalam mengelola sistem penyediaan air minum yang disajikan untuk pelanggan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

- a. Lokasi penelitian dilakukan di *District Meter Area* (DMA) 2 zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.
- b. Parameter yang diukur di lapangan adalah tekanan, suhu, pH, dan sisa klor.

- c. Parameter yang dianalisis di laboratorium adalah kandungan bakteri *Escherichia coli* dengan metode uji MPN.
- d. Gambaran tentang penyebaran sisa klor dan tekanan dilakukan dengan menggunakan *software Epanet 2.2*
- e. Kadar sisa klor dan tekanan dilakukan analisis perbandingan antara hasil pengukuran di lapangan dengan hasil *software Epanet* dengan uji *Root Mean Square Error (RMSE)*.
- f. Menganalisis hubungan sisa klor terhadap jarak, suhu, pH, tekanan dan *Escherichia coli* dilakukan dengan analisis regresi dan korelasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi literatur yang berhubungan dengan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir seperti kajian mengenai kadar sisa klor dan *Escherichia coli* pada jaringan distribusi *District Meter Area (DMA)* 2 zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

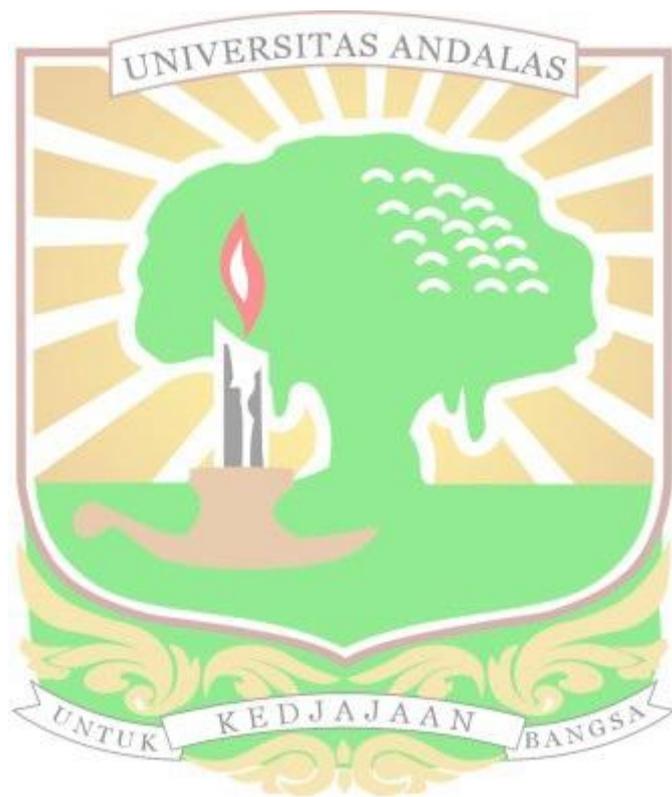
Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang dilakukan, metode sampling, metode analisis laboratorium, lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasan mengenai kandungan sisa klor dan *Escherichia coli*, perbandingan kadar sisa klor dan nilai tekanan antara hasil pengukuran di lapangan dengan *software Epanet*, serta Analisis hubungan sisa klor terhadap suhu, pH, tekanan, jarak, *Escherichia coli* pada jaringan distribusi *District Meter Area (DMA)* 2 Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Persyaratan Air Minum

Air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (PermenKes) No. 492 tahun 2010 adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum dikatakan aman bagi kesehatan apabila telah memenuhi persyaratan fisik, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan (PermenKes, 2010). Jenis air minum meliputi (PermenKes, 2002):

- a. Air yang didistribusikan melalui jaringan perpipaan untuk keperluan rumah tangga
- b. Air yang didistribusikan melalui tangki air
- c. Air Minum dalam Kemasan (AMDK)
- d. Air yang digunakan untuk produksi bahan makanan dan minuman yang disajikan kepada masyarakat.

2.1.1 Persyaratan Kualitas Air Minum

Kualitas air minum menggambarkan kondisi yang ditinjau dari keberadaan bahan-bahan lain di dalam air. Air minum harus dapat memenuhi kualitasnya berdasarkan standar kualitas air minum yang telah ditentukan. Standar kualitas air minum ditetapkan sebagai tolak ukur penentuan kualitas air yang layak konsumsi (Assomadi, 2016).

Air minum dikatakan aman bagi kesehatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum, apabila telah memenuhi persyaratan fisik, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan syarat utama kualitas air minum yang harus diikuti oleh seluruh penyelenggara air minum. Parameter wajib persyaratan kualitas air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimal
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E-Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri coliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/L	0,01
	2) Fluorida	mg/L	1,5
	3) Total Kromium	mg/L	0,05
	4) Kadmium	mg/L	0,003
	5) Nitrit (sebagai NO ₂)	mg/L	3
	6) Nitrat (sebagai NO ₃)	mg/L	50
	7) Sianida	mg/L	0,07
	8) Selenium	mg/L	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak Berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/L	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak Barasa
	6) Suhu	°C	Suhu udara +-5
	a. Parameter Kimia		
	1) Aluminium	mg/L	0,2
	2) Besi	mg/L	0,3
	3) Kesadahan	mg/L	500
	4) Khlorida	mg/L	250
	5) Mangan	mg/L	0,4
	6) pH		6,5-8,5
	7) seng	mg/L	3
	8) Sulfat	mg/L	250
	9) Tembaga	mg/L	2
	10) Amonia	mg/L	1,5

Sumber : PermenKes, 2010

Parameter wajib persyaratan kualitas air minum yang berhubungan langsung dengan kesehatan salah satunya adalah parameter mikrobiologi. Parameter mikrobiologi yang harus dipenuhi yaitu kandungan maksimum *Escherichia coli* dalam air minum adalah 0 per 100 ml sampel.

2.1.2 Persyaratan Kuantitas Air Minum

Kuantitas air minum yaitu jumlah kebutuhan air yang dapat digunakan untuk memenuhi aktivitas penggunaan air. Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air minum dapat ditinjau dari banyaknya air baku yang telah tersedia. Air dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air minum yang dialirkan ke pelanggan sesuai dengan jumlah kebutuhan air minum (Agustina & dan La, 2007). Standar kebutuhan air ditentukan berdasarkan kategori kota menurut Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum tahun 2004. Kota Padang Panjang tergolong kota kecil dengan Besarnya konsumsi air berdasarkan kategori kota dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Per Wilayah

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk				
		>1.000.000 Metro	500.000 s/d 1.000.000 Besar	100.000 s/d 500.000 Sedang	20.000 s/d 100.000 Kecil	<20.000 Desa
1.	Konsumsi unit	190	170	150	130	60
2.	Konsumsi unit hidran umum	30	30	30	30	30
3.	Konsumsi unit non domestik	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4.	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
5.	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
6.	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100-200	200
7.	Sisa tekan di jaringan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
8.	Jam operasi	24	24	24	24	24
9.	Volume reservoir (%)	20	20	20	20	20
10.	SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
11.	Cakupan pelayanan	90	90	90	90	90

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen PU,2004

2.1.3 Persyaratan Kontinuitas Air Minum

Persyaratan kontinuitas bertujuan agar air baku dapat diambil secara terus-menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Kontinuitas penyediaan air minum merupakan upaya yang dilakukan agar ketersediaan air minum dapat terjaga. Kontinuitas pengaliran air minum memberikan jaminan pengaliran selama 24 (dua puluh empat) jam per hari (Peraturan Pemerintah Indonesia, 2015). Dalam menjaga kontinuitas kinerja penyediaan air minum dilakukan beberapa tolak ukur pada jaringan distribusi sebagai berikut (Pemerintah Indonesia, 2005):

1. Unit distribusi harus terdiri dari sistem perpompaan, jaringan distribusi, bangunan penampungan, alat ukur dan peralatan pemantauan.
2. Unit distribusi wajib memberikan kepastian kuantitas, kualitas air, dan kontinuitas pengaliran.
3. Kontinuitas pengaliran sebagaimana dimaksud wajib memberikan jaminan pengaliran 24 jam per hari.

2.1.4 Persyaratan Tekanan Air Minum

Persyaratan tekanan dalam memaksimalkan tingkat pelayanan distribusi yaitu sisa tekan harus diperhatikan dengan persyaratan minimum adalah 0,5 pada titik pipa pelayanan pelanggan seperti terdapat pada **Tabel 2.3**. Tekanan yang kurang mengakibatkan aliran air sampai ke konsumen tidak mengalir, sedangkan tekanan air yang berlebih dapat menimbulkan terjadinya pukulan air yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat-alat perpipaan.

Tabel 2.3 Kriteria Sistem Distribusi

No.	Uraian	Kriteria Pipa Distribusi
1	Debit perencanaan (QPuncak)	Kebutuhan air jam puncak $Q_{peak} = F_{peak} \times Q_{rata-rata}$
2	Faktor jam puncak (Fpeak)	1,15-3
3	Kecepatan aliran dalam pipa	
	a) Kecepatan minimum (Vmin)	0,3-0,6 m/s
	b) Kecepatan maksimum (Vmaks)	3,0-4,5 m/s
	PVC	6,0 m/s
	DCIP	
4	Tekanan air dalam pipa	
	a) Tekanan minimum (Hmin)	0,5-1,0 atm, pada titik jangkauan

No.	Uraian	Kriteria Pipa Distribusi
		pelayanan terjauh
	b) Tekanan maksimum (Hmaks)	
	Pipa PVC	6-8 atm
	Pipa DCIP	10 atm
	Pipa PE 100	12,4 Mpa
	Pipa PE 80	9,0 Mpa

Sumber: PermenPUPR, 2016

2.2 Sistem Penyediaan Air Minum

Suatu komponen sarana SPAM berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 122 Tahun 2015 bertujuan untuk menjalankan, mengamati dan menghentikan unit-unit agar berjalan secara berkesinambungan pada keseluruhan dan/ atau sebagian unit, yang meliputi (Pemerintah Indonesia, 2015):

1. Unit air baku

Unit air baku terdiri dari bangunan penampungan air, bangunan pengambilan/penyadapan, alat pengukuran dan peralatan pemantauan, sistem pemompaan, dan atau bangunan sarana pembawa serta perlengkapannya. Unit air baku merupakan sarana pengambilan dan atau penyediaan air baku. Air baku wajib memenuhi baku mutu yang ditetapkan untuk penyediaan air minum sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

2. Unit produksi

Unit produksi merupakan sarana dan prasarana yang dapat digunakan untuk mengolah air baku menjadi air minum melalui proses fisik, kimiawi, dan/ atau biologi. Unit produksi dapat terdiri dari bangunan pengolahan dan perlengkapannya, perangkat operasional, alat pengukuran dan peralatan pemantauan, serta bangunan penampungan air minum.

3. Unit distribusi

Unit distribusi terdiri dari sistem perpompaan, jaringan distribusi, bangunan penampungan, alat ukur dan peralatan pemantauan. Unit distribusi wajib memberikan kepastian kuantitas, kualitas air, dan kontinuitas pengaliran, yang memberikan jaminan pengaliran 24 jam per hari.

4. Unit pelayanan

Unit pelayanan terdiri dari sambungan rumah, hidran umum, dan hidran kebakaran. Untuk mengukur besaran pelayanan pada sambungan rumah dan hidran umum harus dipasang alat ukur berupa meter air. Untuk menjamin keakurasiannya, meter air wajib dilakukan peninjauan secara berkala oleh instansi yang berwenang.

Proses pengolahan air minum diperlukan dalam mengubah kualitas air baku menjadi air minum. Proses pengolahan air minum yang digunakan atau dipilih harus sesuai dengan kualitas air baku berdasarkan kebutuhannya untuk memenuhi syarat kualitas air minum (PermenPUPR, 2007). Instalasi Pengolahan Air minum mengkombinasikan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi serta dilengkapi dengan pengontrolan proses serta instrumen pengukuran yang dibutuhkan. Pemilihan masing-masing unit operasi yang digunakan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis dan karakteristik air, variasi debit air, kualitas hasil olahan yang diinginkan, pertimbangan kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan yang berkaitan dengan ketersediaan teknologi dan tenaga terampil serta aspek ekonomis menyangkut biaya yang harus disediakan untuk pembangunan instalasi serta biaya operasional (Hermanto, 2014).

2.3 Jaringan Distribusi Air Minum

Unit distribusi adalah sarana untuk mengalirkan air minum dari pipa transmisi air minum sampai unit pelayanan (PermenPUPR, 2007). Sistem distribusi mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan. Sistem ini meliputi unsur sistem pengaliran air bersih, sistem pemompaan, dan reservoir distribusi.

2.3.1 Sistem Pengaliran Air

Sistem pengaliran yang dapat digunakan adalah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya PUPR, 2007):

1. Sistem Gravitasi

Yaitu pengaliran air dari sumber ke tempat dengan cara memanfaatkan energi potensial yang dimiliki air akibat perbedaan ketinggian lokasi sumber air dengan lokasi reservoir.

2. Cara Pemompaan

Yaitu sistem pengolahan air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara memberikan energi kinetik pada aliran air, sehingga air dari sumber dapat mencapai lokasi reservoir yang lebih tinggi.

3. Cara Gabungan

Yaitu sistem pengolahan air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara menggunakan dua sistem transmisi yaitu penggunaan sistem gravitasi dan sistem pompa.

2.3.2 Reservoir Distribusi

Reservoir distribusi digunakan sebagai bak penampung untuk menyuplai pada kondisi fluktuasi, bak penampung untuk suplai kebakaran dan untuk menstabilkan tekanan dalam pipa distribusi. Berdasarkan perletakkannya reservoir dapat dibedakan menjadi (Joko, 2010).

1. Reservoir Bawah Tanah (*Ground Reservoir*)

Dibangun di bawah tanah atau sejajar dengan permukaan tanah. Reservoir ini digunakan bila tekanan yang dimiliki mencukupi untuk distribusi air minum. Jika kapasitas air tinggi, maka diperlukan reservoir bawah lebih dari satu.

2. Menara Reservoir (*Elevated Reservoir*)

Reservoir ini digunakan bila tekanan yang tersedia dengan menggunakan reservoir bawah tanah tidak mencukupi kebutuhan distribusi, dengan menggunakan menara reservoir maka air dapat didistribusikan secara gravitasi. Tinggi menara tergantung kepada tekanan yang dibutuhkan.

2.3.3 Perpipaan Distribusi

Jaringan distribusi adalah rangkaian pipa yang berhubungan dan digunakan untuk mengalirkan air ke konsumen. Tata letak distribusi ditentukan oleh kondisi topografi

daerah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan. Jaringan perpipaan distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Joko, 2010):

1. Sistem Cabang

Bentuk cabang dengan jalur buntu menyerupai cabang sebuah pohon. Pipa induk utama tersambung pada pipa induk sekunder dan pipa induk sekunder tersambung pipa pelayanan utama yang terhubung dengan penyediaan air minum dalam gedung. Dalam pipa dengan jalur buntu, arah aliran air selalu sama dan suatu areal mendapat suplai air dari satu pipa tunggal.

Kelebihan dari pola cabang:

- a. Sistem ini sederhana dan desain jaringan perpipaannya juga sederhana;
- b. Cocok untuk daerah yang sedang berkembang;
- c. Pengambilan dan tekanan pada titik manapun dapat dihitung dengan mudah;
- d. Pipa dapat ditambahkan bila diperlukan pengembangan kota;
- e. Dimensi pipa lebih kecil karena hanya melayani populasi yang terbatas;
- f. Membutuhkan beberapa katup untuk mengoperasikan.

Jaringan distribusi dengan sistem cabang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Bentuk Sistem Cabang

Sumber: Joko, 2010

Kekurangan dari pola cabang:

- a. Saat terjadi kerusakan, air tidak tersedia untuk sementara waktu;

- b. Tidak cukup air untuk memadamkan kebakaran karena suplai hanya dari pipa tunggal;
- c. Pada jalur buntu, mungkin terjadi pencemaran dan sedimentasi jika tidak ada penggelontor;
- d. Tekanan tidak mencukupi ketika dilakukan penambahan areal ke dalam sistem penyediaan air minum.

2. Sistem gridiron

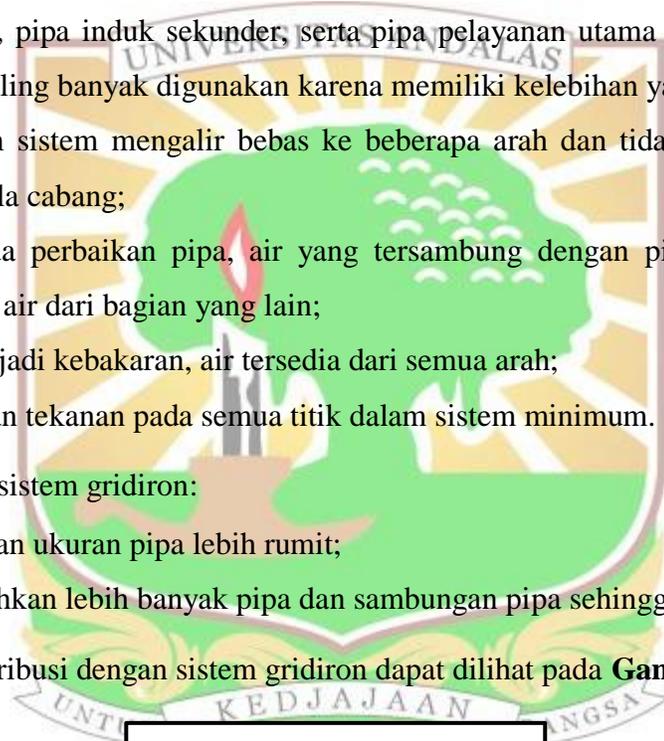
Pipa induk utama dan pipa induk sekunder terletak dalam kotak, dengan pipa induk utama, pipa induk sekunder, serta pipa pelayanan utama saling terhubung. Sistem ini paling banyak digunakan karena memiliki kelebihan yaitu:

- a. Air dalam sistem mengalir bebas ke beberapa arah dan tidak terjadi stagnasi seperti pola cabang;
- b. Ketika ada perbaikan pipa, air yang tersambung dengan pipa tersebut tetap mendapat air dari bagian yang lain;
- c. Ketika terjadi kebakaran, air tersedia dari semua arah;
- d. Kehilangan tekanan pada semua titik dalam sistem minimum.

Kekurangan sistem gridiron:

- a. Perhitungan ukuran pipa lebih rumit;
- b. Membutuhkan lebih banyak pipa dan sambungan pipa sehingga lebih mahal.

Jaringan distribusi dengan sistem gridiron dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

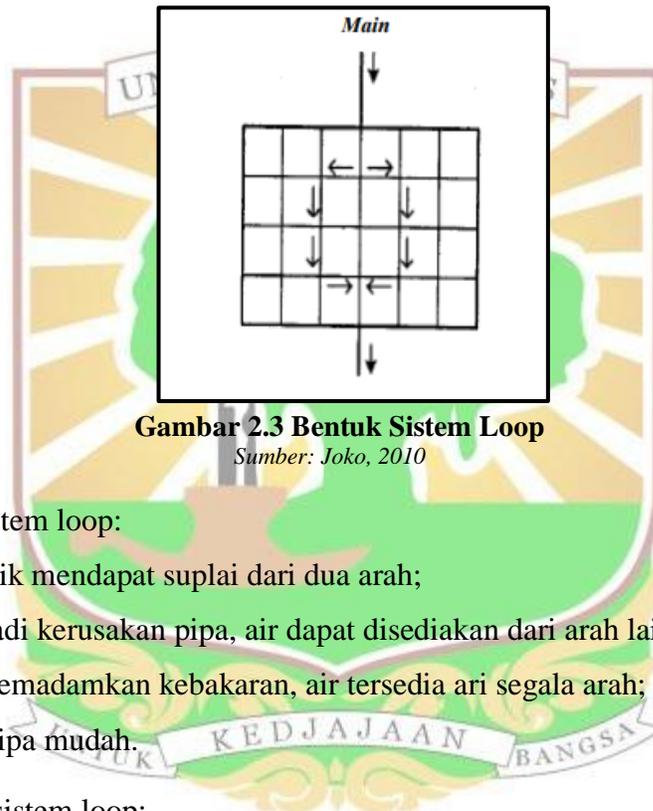


Gambar 2.2 Bentuk Sistem Gridiron

Sumber: Joko, 2010

3. Sistem Melingkar (Loop)

Pipa induk utama terletak mengelilingi daerah pelayanan. Pengambilan dibagi menjadi dua dan masing-masing mengelilingi batas daerah layanan, dan keduanya bertemu kembali di ujung. Pipa perlintasan (*cross*) menghubungkan kedua pipa induk utama. Dalam daerah pelayanan, pipa pelayanan utama terhubung dengan pipa induk utama. Sistem ini paling ideal. Jaringan distribusi dengan sistem loop dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Bentuk Sistem Loop

Sumber: Joko, 2010

Kelebihan sistem loop:

- Setiap titik mendapat suplai dari dua arah;
- Saat terjadi kerusakan pipa, air dapat disediakan dari arah lain;
- Untuk memadamkan kebakaran, air tersedia dari segala arah;
- Desain pipa mudah.

Kekurangan sistem loop:

- Membutuhkan lebih banyak pipa;
- Membutuhkan lebih banyak pipa dan sambungan pipa sehingga lebih mahal.

2.3.4 Hidrolika Perpipaian Distribusi

Dalam jaringan distribusi air minum terdapat beberapa persamaan hidrolika yang digunakan dalam sistem jaringan distribusi air bersih yaitu (Gupta,1993).

1. Hukum Bernoulli

Prinsip *Bernoulli* bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis dilihat dari persamaan 2.1 berikut :

$$E_{Tot} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan}$$
$$= z + \frac{P}{\gamma_w} + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- γ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- v_1 dan v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det),
- g = percepatan gravitasi (m/det^2)
- Z_1 dan Z_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

2. Hukum Kontinuitas

Hukum kontinuitas yang dituliskan :

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

- Q_1 = debit pada penampang 1 (m^3/det)
- Q_2 = debit pada penampang 2 (m^3/det)
- A_1 = luas penampang pada penampang 1 (m^2)
- A_2 = luas penampang pada penampang 2 (m^2)
- V_1 = kecepatan pada penampang 1 (m/det)
- V_2 = kecepatan pada penampang 2 (m/det)

3. Kehilangan Tekanan Air

Dalam perjalanannya sepanjang pipa, air kehilangan energinya. Kehilangan tekanan (h_f) dalam pipa terjadi akibat adanya *friction* antara fluida dengan permukaan pipa. Kehilangan tekanan terdiri atas dua macam, yaitu (Triatmadja, 2008):

a. *Mayor Losses*

Mayor Losses yaitu kehilangan tekanan sepanjang pipa lurus akibat gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa. Perhitungan dengan menggunakan rumus Hazen-William berikut

$$Q = 0,2785 C D^{2,63} S^{0,54} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$H_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785 D^{2,63} C)^{1,85}} \times L \dots\dots\dots (2.5)$$

$$S = \frac{h_f}{L} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- C = Koefisien Kekasaran Pipa
- S = Kemiringan atau *slope* garis tenaga
- Q = Debit (m³/detik)
- D = Diameter pipa (m)
- h_f = Kehilangan Energi (m)
- L = Panjang Pipa (m)

Faktor C menggambarkan kondisi fisik dari pipa seperti kehalusan dinding dalam pipa yang menggambarkan jenis dan umur pipa. Nilai Koefisien kekasaran pipa dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Nilai Koefisien Kekasaran Pipa

Material	Nilai C
Asbes Cement	120
Poly Vinil Chloride (PVC)	120-140
High Density Poly Ethilene (HDPE)	130
Medium Density Poly Ethilene (MDPE)	130
Ducatile Cast Iron Pipe (DCIP)	110
Besi Tuang, Cast Iron (CIP)	110
Galvanized Iron Pipe (GIP)	110
Steel Pipe (Pipa Baja)	110

Sumber: Rossman, 2000

Kehilangan tekan yang disebabkan oleh sifat-sifat fisis dari pipa dan fluida yang mengalir berdasarkan persamaan *Darcy Weisbach* adalah

$$h_f = f \times \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots (2.7)$$

keterangan:

- D = Diameter pipa (m)
- h_f = Kehilangan tekanan (m)
- L = Panjang pipa (m)

- v = Kecepatan aliran (m/detik)
- f = Koefisien kekasaran pipa
- g = Kecepatan gravitasi (m/detik²)

b. *Minor Losses*

Minor Losses yaitu kehilangan tekanan yang terjadi pada tempat yang memungkinkan adanya perubahan karakteristik aliran, misalnya belokan valve dan aksesoris pada pipa.

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

- h_f = Kehilangan tekanan/ *head loss* (m)
- k = Besarnya *minor head loss*
- v = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)

2.4 Disinfeksi Air Minum

Disinfeksi merupakan metode inaktivasi (membunuh mikroorganisme patogen yang terdapat dalam air minum. Metode Disinfeksi ini bertujuan untuk membunuh mikroorganisme penyebab penyakit (patogen), baik dari instalasi pengolahan atau yang masuk melalui jaringan distribusi. Mikroorganisme – mikroorganisme tersebut dapat berupa virus (penyebab poliomyelitis), bakteri (penyebab kolera, disentri, demam tifoid dan sebagainya), dan mikroorganisme lain. Dalam perkembangan selanjutnya tujuan metode Disinfeksi berkembang untuk oksidasi materi organik dan anorganik (Fe, Mn), destruksi bau dan rasa, kontrol terhadap pertumbuhan mikroorganisme (Ali, 2010).

Jenis Disinfeksi dalam air minum dapat dikelompokkan sebagai berikut (LeChevallier, 2013)

1. Disinfeksi Secara Fisik

Disinfeksi secara fisik dilakukan dengan memanfaatkan panas (pendidihan), selama 15 – 20 menit untuk menghilangkan bakteri atau mikroorganisme lain yang dapat menyebabkan penyakit *Water Born Disease*. Prinsip Disinfeksi dengan pemanasan dikembangkan dari proses *pasteurisasi milk* yaitu dengan pemanasan pada 161°C

selama 15 detik. Kelemahan pada prinsip ini sisa panas (residual) tidak dapat dipertahankan untuk pengamanan pada waktu kontak dan jarak tempuh tertentu.

2. Disinfeksi dengan Ultraviolet

Disinfeksi ultraviolet dilakukan dengan menggunakan radiasi gelombang pendek dari sinar ultra violet pada lapisan film air ketebalan 120 mm. Panjang gelombang yang digunakan yaitu 200 – 295 mikrometer.

3. Disinfeksi Secara Kimia Bahan kimia

Disinfeksi dengan menggunakan senyawa kimia dalam proses disinfeksi air yang diolah. Adapun senyawa kimia dapat berupa reduktor (halogen (klorin, bromin, iodin), ozon, hidrogen peroksida, kalium permanganat), alkohol, fenol dan senyawa fenol, logam berat, senyawa amonia kuartener, sabun dan deterjen sintetik, dan senyawa alkil serta asam lainnya.

2.5 Klorin

Klorin merupakan unsur yang sangat reaktif dan cenderung membentuk senyawa dengan unsur-unsur lainnya. Pada suhu kamar dan tekanan normal, klorin adalah gas yang berwarna kuning kehijauan. Klorin merupakan salah satu desinfektan yang sering digunakan dalam pengolahan air minum.

Disinfeksi dengan klor dalam menurunkan jumlah mikroorganisme perlu memperhatikan hal berikut (LeChevallier, 2013):

1. Kebutuhan Klor untuk Disinfeksi

Kebutuhan klor adalah jumlah klor yang dibutuhkan untuk mencapai break point klorinasi. Banyaknya klor yang dibutuhkan tergantung pada kualitas pasokan air baku yang digunakan. Hal itu disebabkan karena adanya fluktuasi kualitas air dari waktu ke waktu sehingga jumlah klor yang dibutuhkan juga berbeda dari waktu ke waktu.

2. Konsentrasi Maksimum dalam Disinfeksi

Kemampuan klor sebagai bahan Disinfeksi dalam mengoksidasi air mempunyai batas konsentrasi yang masih aman bagi tubuh manusia, sehingga jika terjadi kelebihan dosis pembubuhan klor akan berpengaruh terhadap bau, rasa dan kesehatan manusia.

2.5.1 Jenis Klor

Terdapat beberapa macam bentuk senyawa klor yang biasa digunakan dalam pengolahan air minum. Klor sebagai disinfektan dapat diperoleh dari beberapa jenis persenyawaan, antara lain (Ali, 2010) :

1. Klorin Cair (*Liquid Chlorine*)

Klorin cair adalah gas klor yang dikondisikan pada tekanan dan temperatur tertentu sehingga berbentuk cair. Besar tekanan yang dibutuhkan kurang lebih 2,66 atmosfer pada tekanan 0° C, sedangkan pada temperatur 100° C tekanan yang dibutuhkan sebesar 41 atmosfer. Untuk menjaga tekanan yang besar tersebut, cairan klorin disimpan dalam tabung yang terbuat dari baja / besi. Pada kondisi udara luar cairan klor ini berbentuk gas sehingga untuk pelaksanaan injeksi tabung penampung tersebut cukup dihubungkan dengan pipa dan dilakukan pengaturan debit dan tekanannya. Gas klor pada udara kering tidak korosif tetapi pada kondisi udara lembab gas ini sangat korosif. Kelarutan gas klor dalam air sangat tergantung dari temperatur, pH, kandungan garam terlarut, yang menghasilkan 100 % klor tersedia bebas.

2. Senyawa *Hypochlorite*

Hypochlorite merupakan bentuk senyawa klor dengan potensial oksidasi yang tinggi yang hampir sama dengan potensial oksidasi gas klor. *Hypochlorite* dapat dihasilkan dari hidrolisa garam – garam klorida dimana penyebarannya tergantung dari pH dan temperatur air. Menurut Mursid, 1991 senyawa *hypochlorite* terdiri atas :

- a. *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) berbentuk garam dengan kandungan klor tersedia sebesar 5 – 15 %. Pemilihan kekuatan larutan dan lokasi tempat penyimpanan dapat dipengaruhi oleh sifat membeku, dimana titik beku minimum kira – kira - 20° F terjadi untuk konsentrasi 18 %. Pembekuan terjadi kira – kira pada 10°F dan 22° F berturut – turut dalam dan 5 % larutan.
- b. *Calcium Hypochlorite* (Ca(OCl)₂) yang lebih sering dikenal dengan nama kaporit, merupakan padatan bubuk berwarna putih non higroskopik, korosif, menimbulkan bau klor dan mengandung klor tersedia sebesar 60 – 70 %. Di

Indonesia untuk mendisinfeksi air minum banyak digunakan kaporit sebagai desinfektan, terutama oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

3. *Chloride Of Lime* (CaOCl_2)

Kandungan klor tersedia sebesar 25 – 37 %. Senyawa ini tidak stabil dan mudah terdegradasi sehingga harus disimpan dalam drum dan ditempatkan pada udara dingin dan kering. Kapur chlorida mengandung kapur yang tidak larut dalam air dan mengandung suspended solid yang menyebabkan kekeruhan. Dalam penerapan harus dilarutkan dahulu pada tangki penjenuh, sehingga kapur yang ada diendapkan dan larutan klor dipisahkan untuk diinjeksikan.

4. *Chlorine Dioksida* (ClO_2)

Chlorine dioksida jarang digunakan untuk Disinfeksi. *Chlor dioksida* berupa gas berwarna hijau kekuningan pada suhu kamar. Senyawa ini cepat terdegradasi oleh sinar ultraviolet dan sensitive terhadap temperatur dan tekanan, serta mudah meledak. Senyawa ini mempunyai potensial oksidasi yang hampir sama dengan asam hipochlorite. *Chlor dioksida* bisa dihasilkan dari campuran gas klor dengan *Sodium hipochlorite*. *Chlorine dioksida* dalam air tidak stabil dan mudah mengalami perubahan bentuk dan potensial oksidasi pada perubahan pH atau oleh kehadiran amonia. Jenis dan Sifat Bahan Disinfeksi dapat dilihat pada **Tabel 2.5**

Tabel 2.5 Jenis dan Sifat Bahan Disinfeksi

No	Jenis Disinfektan	Rumus Kimia	% Klor	Bentuk	Kandungan
1.	<i>Liquid Chlorine</i>	Cl_2	100	Gas	Tidak Ada
2.	<i>Sodium</i>	NaOCl	3-5	Padat	Tidak Ada
3.	<i>Calcium Hypochlorite</i>	Ca(OCl)_2	65-70	Padat	Ada
4.	<i>Calcium Hypochlorite</i>	CaOCl_2	25-37	Padat	Ada
5.	<i>Chloride Dioksida</i>	ClO_2	63	Bubuk	Tidak Ada

Sumber: Ali, 2010

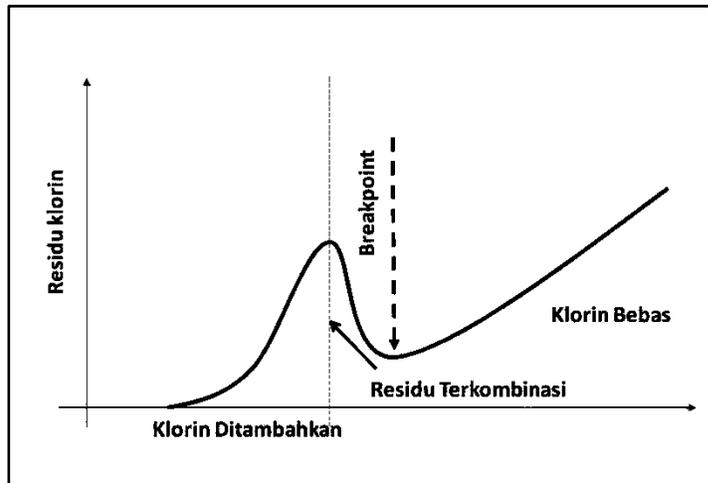
2.5.2 Klorinasi

Klorinasi merupakan salah satu bentuk pengolahan air yang bertujuan untuk membunuh kuman dan mengoksidasi bahan-bahan kimia dalam air. Penggunaan klor

(Cl₂) untuk membunuh bakteri dalam air diperkenalkan oleh John L. Leal dengan penggunaan Ca(OCl)₂, untuk proses disinfeksi air dalam pipa. Klor sebagai desinfektan sebagai kalsium diklorida (Ca(OCl)₂), dapat juga ditemui berbentuk sebagai gas (Cl₂), natrium klorida (NaOCl) ataupun sebagai hipoklorit (HOCl). Kaporit kalsium hipoklorit adalah senyawa kimia bersifat korosif pada kadar tinggi dan pada kadar rendah biasanya digunakan sebagai penjernih air (Alaerts & Santika, 1987).

Hubungan antara dosis penambahan klor dengan residu klor aktif membentuk suatu grafik klorinasi seperti terdapat dalam **Gambar 2.4**. Reaksi yang terjadi dari waktu mulai pemberian klor dapat dibagi menjadi empat tahap reaksi sebagai berikut (Winarno, 1992):

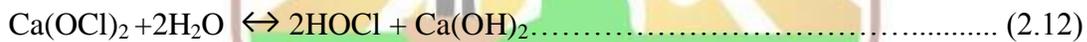
1. Pada tahap 1 terjadi pemecahan klorin oleh senyawa pereduksi dan pada tahap ini belum nampak adanya residu klor. Air yang banyak mengandung bahan organik yang dapat mengkonsumsi klor.
2. Tahap 2 merupakan tahap terbentuknya senyawa kloramin dan kloro-organik, atau terbentuknya *combined available chlorine* (klor tersedia terikat). Pada tahap ini akan terjadi reaksi antara amoniak dan klor menjadi kloramin, serta senyawa organik dengan klor menjadi kloro-organik.
3. Pada tahap 3 terbentuk gas nitrogen (N₂) dan terjadinya titik retak (*break point*). Kebutuhan klor adalah jumlah klor yang perlu dibubuhkan untuk mencapai *break point*.
4. Tahap 4 merupakan daerah yang sudah melewati *breakpoint* hanya klor yang tersedia bebas terbentuk karena pada titik tersebut semua zat amoniak sudah dirubah menjadi gas N₂ yang keluar dari larutan sebagai gelembung, namun sedikit kloramin masih tertinggal.



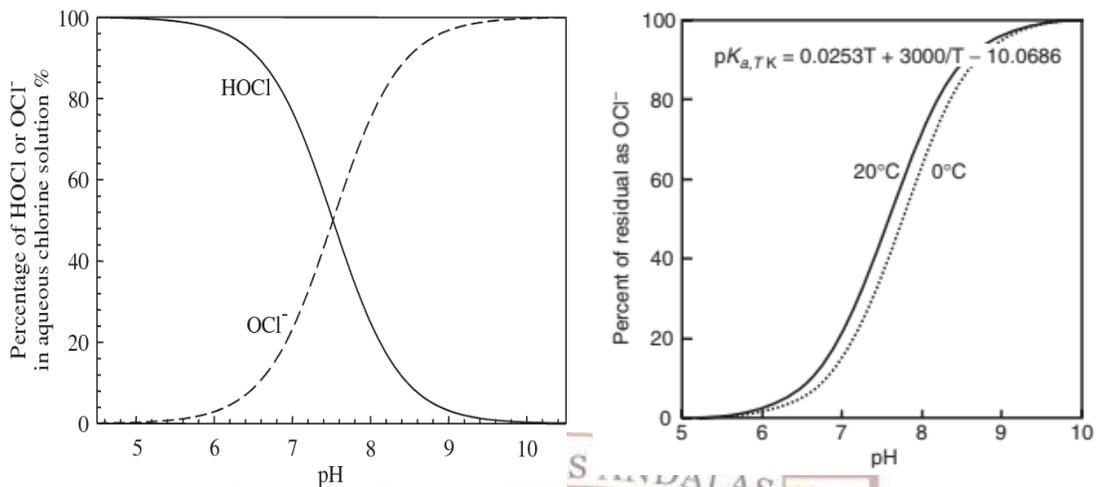
Gambar 2.4 Breakpoint Chlorination

Sumber : Winarno, 1992

Proses klorinasi dilakukan dengan pemberian klorin ke dalam air yang telah menjalani proses filtrasi dan merupakan langkah dalam proses purifikasi air. Reaksi klor dengan air akan menghasilkan Asam Hipoklorit (HOCl) dengan reaksi sebagai berikut (Pizzi, 2010) :



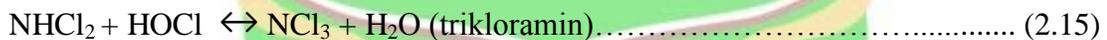
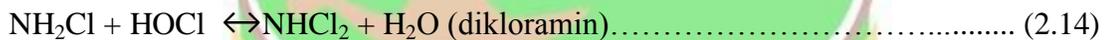
Pada reaksi (2.11) terjadi reaksi antara gas klor dengan air yang mengakibatkan pH air akan menurun karena dihasilkan ion H^+ , sebaliknya pada reaksi (2.12) terjadi reaksi antara kaporit dengan air, pH air akan naik karena dihasilkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bersifat basa (alkalis). HOCl dan OCl^- adalah klor aktif atau disebut klor bebas. HOCl merupakan sisa klor bebas yang paling efektif sebagai disinfektan dibandingkan dengan OCl^- sebagai bentuk klor bebas yang kedua. Sedangkan Cl^- merupakan klor yang tidak aktif. Cl_2 , HOCl, dan OCl^- merupakan sisa klor aktif yang bersifat toksik bagi kuman (Crittenden, 2012).



Gambar 2.5 Grafik Pengaruh suhu dan pH pada Fraksi Klor Bebas

Sumber: Reynold, 1996

Distribusi antara HOCl dan OCl⁻ diilustrasikan pada **Gambar 2.5** sebagai fungsi dari pH dan suhu. Asam hipoklorit (HOCl) menunjukkan kinetika Disinfeksi yang lebih cepat daripada ion hipoklorit (OCl⁻). Klor yang bereaksi di dalam air, juga akan bereaksi dengan amonia dan membentuk kloramin sebagai berikut (Crittenden et al., 2012):



Klorin ditemukan relatif stabil dalam air pada pH rendah dan bereaksi lebih lambat dengan zat organik yang terdapat pada air, dimana didapatkan persamaan berikut (Crittenden et al., 2012):

1. Klorin bebas = HOC + Cl⁻
2. Klorin Gabungan = NH₂Cl + NHCl₂ + NCl₃
3. Total Klorin = Klorin bebas + Klorin Gabungan

HOCl dengan mudah dapat memasuki kulit luar atau bagian pelindung bakteri yang secara alami bermuatan negatif. Dengan demikian HOCl secara efektif membunuh

bakteri tersebut. Ketika klorin dilarutkan dalam air, ia akan bereaksi dengan semua zat organik dan anorganik yang tersedia dalam air. Klorin yang telah bereaksi dengan zat tersebut tidak lagi dapat berguna sebagai desinfektan. Sisa klorin setelah terjadinya reaksi tersebut disebut sebagai sisa klorin aktif (HOCL dan OCL). Sisa klor akan tetap berada dalam air hingga terpakai untuk membunuh kontaminasi baru yang masuk (World Health Organisation, 2007)

Selain untuk menghancurkan bakteri patogen, klorinasi juga membawa fungsi sekunder yang penting dalam air pada proses oksidasi besi, mangan, hidrogen sulfida, senyawa penghasil rasa, bau, ganggang, dan organisme lumpur lainnya. Klorin adalah desinfektan yang paling banyak digunakan karena efektif pada konsentrasi rendah, murah, dan membentuk residual jika digunakan pada dosis yang tepat (Black & Veatch Corporation, 2010).

Klorin dapat menjadi oksidan yang efektif untuk beberapa spesies, terutama sulfida, Fe (II), dan Mn (II). Klorin juga telah digunakan untuk menghilangkan senyawa rasa bau dan amonia. Berikut aplikasi klorin sebagai oksidan (Crittenden et al., 2012) :

1. Oksidasi Sulfida

Dalam kondisi basa, sulfida bereaksi cepat dengan klor. Berikut merupakan reaksi oksidasi sulfida dengan klor



2. Oksidasi Besi

Oksidasi Fe (II) dengan klor biasanya berlangsung cukup cepat mengikuti stoikiometri seperti reaksi di bawah ini:

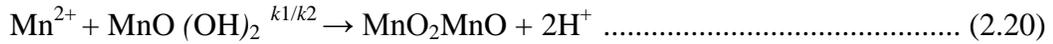


3. Oksidasi Mn (II)

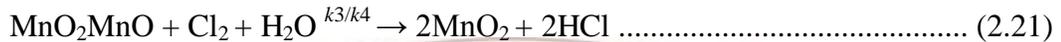
Oksidasi Mn (II) dengan klorin bebas lebih sulit dari oksidasi dengan Fe (II). Dalam larutan, reaksi antara klorin dan Mn (II) terlalu lambat untuk digunakan dalam pengolahan air kecuali jika pH dinaikkan menjadi 9. Ketika air berklorin dilewatkan melalui saringan berisi media yang dilapisi dengan MnO₂, akan terjadi

dengan adsorpsi ke media, dan Mn (II) yang teradsorpsi secara bertahap akan dioksidasi menjadi MnO₂ pada permukaan media filter. Langkah-langkah dalam proses oksidasi Mn dengan klor yaitu:

Langkah 1: Adsorpsi Mn (II) pada MnO₂ permukaan:



Langkah 2: Oksidasi spesies yang teradsorpsi oleh klor:



4. Oksidasi rasa dan bau

Dengan waktu reaksi yang cukup, klorin bebas juga efektif dalam mengendalikan berbagai macam rasa dan bau yang terkait dengan air minum. Klorin dapat mengendalikan yaitu yang paling umum adalah bau sulfida, bau amis, berumput, dan rawa.

2.5.3 Kinetika Peluruhan dan Kinetika Penyisihan Mikroorganisme

Instalasi pengolahan air yang menggunakan air permukaan sebagai sumber atau air tanah yang dipengaruhi air permukaan, dan tanpa filtrasi, harus menghitung nilai CT setiap hari. CT merupakan indikator efektivitas proses disinfeksi, tergantung pada pH dan suhu untuk menghilangkan atau menonaktifkan *Lambliia Giardia* (protozoa) dan virus yang dapat melewati unit proses pengolahan air. Nilai CT masing-masing penyisihan dapat dilihat pada **Tabel 2.6 - 2.8**

Tabel 2.6 Nilai CT untuk Penyisihan Bakteri 99,9% (3log)

Disinfectant mg/L	Temperature, °C						
	pH	0,5 or < 1	5	10	15	20	25
Free chlorine							
≤0,4	6	137	97	73	49	36	24
	7	195	139	104	70	52	35
	8	277	198	149	99	74	50
	9	390	279	209	140	105	70
1,0	6	148	105	79	53	39	26
	7	210	149	112	75	56	37
	8	306	216	162	108	81	56
	9	437	312	236	156	117	78
1,6	6	157	109	83	56	42	28

Disinfectant mg/L	Temperature, °C						
	pH	0,5 or < 1	5	10	15	20	25
	7	226	155	119	79	59	40
	8	321	227	170	116	87	58
	9	466	329	236	169	126	82
2,0	6	165	116	87	58	44	29
	7	236	165	126	83	62	41
	8	346	263	182	122	91	61
	9	500	353	265	177	132	88
3,0	6	181	126	95	63	47	32
	7	261	182	137	91	68	46
	8	382	268	201	136	101	67
	9	552	389	292	195	146	97
ClO ₂	6-9	63	26	23	19	15	11
Ozone	6-9	2,9	1,9	1,43	0,95	0,72	0,48
Chloramine	6-9	3800	2200	1850	1500	1100	750

Sumber: USEPA 1989

Tabel 2.7 Nilai CT untuk Penyisihan Bakteri 90% (1log)

Disinfectant mg/L	Temperature, °C						
	pH	0,5 or < 1	5	10	15	20	25
Free chlorine							
≤0,4	6	46	32	24	16	12	8
	7	65	46	35	23	17	12
	8	92	66	50	33	25	17
	9	130	93	70	47	35	23
1,0	6	49	35	26	18	13	9
	7	70	50	37	25	19	12
	8	101	72	54	36	27	18
	9	146	104	78	52	39	26
1,6	6	52	37	28	19	14	9
	7	75	52	40	26	20	13
	8	110	77	58	39	29	19
	9	159	112	84	56	42	28
2,0	6	55	39	29	19	15	10
	7	79	55	41	28	21	14
	8	115	81	61	41	30	20
	9	167	118	88	59	46	29
3,0	6	60	42	32	21	16	11
	7	87	61	46	30	23	15
	8	127	89	67	45	36	22
	9	184	130	97	65	49	32
ClO ₂	6-9	21	8,7	7,7	6,3	5,0	3,7
Ozone	6-9	0,97	0,63	0,48	0,32	0,24	0,16
Chloramine	6-9	1270	735	615	500	370	250

Sumber: USEPA 1989

Tabel 2.8 Nilai CT untuk Penyisihan Virus untuk pH 6-9 (llog)

Disinfectant mg/L	Temperature, °C						
	pH	≤ 1	5	10	15	20	25
Free chlorine	2	6	4	3	2	1	1
	3	9	6	4	3	2	1
	4	12	8	6	4	3	2
Chlorine dioxide	2	8,4	5,6	4,2	2,8	2,1	1,4
	3	25,6	17,1	12,8	8,6	6,4	4,3
	4	50,1	33,4	25,1	16,7	12,5	8,4
Ozone	2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,25	0,15
	3	1,4	0,9	0,8	0,5	0,4	0,25
	4	1,8	1,2	1,0	0,6	0,5	0,3
Chloramine	2	1243	857	643	428	321	214
	3	2063	1423	1067	712	534	365
	4	2883	1988	1491	994	746	497

Sumber: USEPA 1989

Sisa klor menjaga desinfektan dalam pipa distribusi air jika sewaktu waktu ada kontaminan yang masuk dalam jaringan. Namun demikian, selama perjalanannya sepanjang pipa, HOCL dan OCL bereaksi dengan zat yang terkandung dalam air maupun dengan dinding pipa, sehingga selalu berkurang. Berkurangnya konsentrasi sisa klor bebas selama mengalir pada jaringan pipa distribusi disebabkan oleh dua reaksi, yaitu (Mays, 1988) :

a. *Bulk Reaction*

Bulk reaction merupakan pengurangan konsentrasi sisa klor bebas akibat sisa klor yang bereaksi dengan komponen-komponen yang terlarut dalam air. Komponen tersebut dapat berupa komponen organik maupun mikroorganisme yang ada dalam pipa.

b. *Pipe Wall Reaction*

Pipe wall reaction merupakan pengurangan konsentrasi sisa klor bebas akibat reaksi sisa klor bebas dengan dinding pipa. Reaksi terjadi disebabkan karena adanya lapisan biologis/biofilm adat karena terjadi korosi pada pipa. Oleh karena itu jenis pipa, diameter pipa serta kondisi pipa menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan.

Model kinetik peluruhan klorin dapat dapat dijelaskan dengan **persamaan 2.22** berikut:

$$\frac{dC}{dt} = -CK^n \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

- C = Konsentrasi klorin
- K = Koefisien laju peluruhan massal (*bulk*)
- n = Orde reaksi

Koefisien reaksi dinding (*wall reaction*) dapat bergantung pada temperatur dan dapat juga berkorelasi dengan umur dan material pipa. *Epanet* dapat membuat setiap harga koefiesn pipa *K_w* berfungsi untuk menjelaskan kekasaran pipa (Rossman, 2000). *Epanet* membatasi pilihan orde reaksi dinding 0 atau 1, sehingga unit *K_w* adalah massa/area/waktu atau panjang/waktu. Nilai orde pertama *K_w* dapat memiliki rentang dari 0 hingga 5 ft/hari. *Epanet* melakukan semuanya secara otomatis, berdasarkan pengaturan pada skala molekular dari substansi yang dimodelkan dan pada angka reynold (Rossman, 2000).

2.6 Bakteri Coliform

Indikator pencemaran kualitas air yang dilihat dari segi parameter mikrobiologi yaitu mikroorganisme patogen yang masuk dari berbagai sumber. Faktor-faktor dominan yang menjadi asal kontaminasi dalam hal kualitas bakteriologis adalah sebagai berikut (Pitojo, 2003):

1. Adanya pencemaran fisik dan bakteriologis;
2. Adanya kandungan zat organik alami berdasarkan proses alam;
3. Tingkat keragaman mikroorganisme hidup dalam air;
4. Tingkat pengelolaan dan pemeliharaan sarana;
5. Sistem jaringan dan distribusi air.

Persyaratan mikrobiologis wajib dipenuhi oleh air yang dapat diketahui melalui uji bakteriologis. Parameter mikrobiologis yang diamati biasanya adalah *Total Coliform* dan *Eschericia coli*. *Total Coliform* digunakan sebagai indikator karena densitasnya

yang berbanding lurus dengan tingkat pencemaran air. Bakteri ini dapat mendeteksi patogen pada air seperti virus, protozoa dan parasit. Selain itu, bakteri ini memiliki daya tahan lebih tinggi dari pada patogen serta lebih mudah diisolasi dan ditumbuhkan (Prayitno, 2009).

Bakteri *Coliform* merupakan golongan bakteri yang termasuk ke dalam famili *Enterobacteriaceae*, hidup di saluran pencernaan manusia dan hewan. Bakteri *coliform* merupakan indikator kontaminasi lingkungan atau sanitasi yang kurang baik (Tururaja, T., Moge, 2010). Adanya keterkaitan bakteri *coliform* menjadi salah satu parameter kualitas air yang menunjukkan adanya kontaminasi *anthropogenic pollutant* dalam suatu perairan. Mikroorganisme patogen tersebut berpotensi menyebabkan beberapa penyakit yang berhubungan dengan pencernaan (Tururaja, T., Moge, 2010).

Terdapat tiga kelompok bakteri *Coliform* yang merupakan indikator kualitas air minum dan memiliki tingkat risiko, diantaranya (Washington State Department of Health, 2016):

1. *Total Coliform*

Menurut *American Public Health Association* (APHA, 2003) kelompok *Total Coliform* termasuk bakteri berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, aerobik, dan anaerobik fakultatif yang memfermentasi laktosa dengan menghasilkan gas dalam 48 jam pada suhu 35°C. *Total Coliform* tersebut dikeluarkan dalam jumlah yang besar (2×10^9 Coliform per hari per kapita) dalam feses manusia dan hewan, tetapi tidak semua bakteri tersebut berasal dari fekal. *Total Coliform* umum di dalam lingkungan (tanah atau vegetasi) dan umumnya tidak berbahaya. Dalam hal efisiensi pelaksanaan sistem pengelolaan air buangan, *Total Coliform* merupakan salah satu indikator terbaik.

2. *Fecal Coliform*

Fecal Coliform merupakan sub kelompok dari *Total Coliform* yang ada di usus serta kotoran manusia dan hewan yang dapat memfermentasi laktosa pada suhu 44,5°C. Namun, tidak dapat dibedakan kontaminasi tersebut disebabkan oleh hewan atau manusia. Beberapa saran menganjurkan penggunaan *E.coli* sebagai

indikator fekal, karena bakteri tersebut dapat dengan mudah dibedakan dari anggota kelompok *Fecal Coliform*. *Fecal Coliform* memperlihatkan pola kelangsungan hidup yang sama dengan bakteri patogen, tetapi bakteri ini tidak dibuatkan khususnya untuk indikator adanya kontaminasi virus dan kista protozoa. *Fecal Coliform* juga tumbuh kembali pada air limbah dalam kondisi yang memungkinkan (APHA, 2003).

3. *Escherichia coli*

Escherichia coli merupakan sub kelompok dari *Fecal Coliform*. *Escherichia coli* adalah salah satu jenis bakteri yang secara normal hidup dalam saluran pencernaan baik manusia maupun hewan yang sehat. Kebanyakan dari bakteri *Escherichia coli* tidak berbahaya.

2.6.1 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri *Coliform*

Pertumbuhan optimum bakteri diakibatkan oleh penambahan jumlah massa sel atau total massa sel yang maksimal (Pratiwi, 2008). Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri yaitu (Nuraeni, 2000):

1. Nutrisi

Nutrisi adalah substansi yang diperlukan untuk biosintesis dan pembentukan energi. Nutrisi berdasarkan kebutuhannya dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Makroelemen (elemen-elemen nutrisi yang diperlukan dalam jumlah banyak seperti karbon (C), oksigen (O) dan hidrogen (H).
- b. Mikroelemen (elemen-elemen nutrisi yang diperlukan dalam jumlah sedikit seperti mangan (Mn), zinc (Zn) dan tembaga (Cu).

2. Media Kultur

Media kultur merupakan bahan nutrisi yang digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme di laboratorium. Pemilihan media yang cocok untuk pertumbuhan mikroorganisme di laboratorium sangat dibutuhkan pengetahuan tentang habitat normal mikroorganisme. Berdasarkan konsistensinya, media kultur dikelompokkan menjadi dua macam yaitu: media cair (*liquid media*) dan media padat (*solid media*). Berdasarkan kandungan nutrisinya, media kultur dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu: media sintetik (*synthetic media*), media kompleks

(*complex media*), media umum (*genera media*), media penyubur (*enrichment media*), media selektif (*selective media*), media diferensial (*differential media*) dan media khusus.

2.6.2 Analisis Metode Most Probable Number (MPN)

Metode Most Probable Number (MPN) merupakan metode yang berfungsi untuk mengetahui jumlah bakteri *Coliform* dalam uji kualitas air. Metode MPN pada dasarnya menggunakan perhitungan medium cair dalam tabung reaksi. Perhitungan berdasarkan tabung yang positif, yaitu tabung menunjukkan pertumbuhan mikroba setelah inkubasi pada suhu dan waktu tertentu serta dapat diketahui dari gelembung gas yang dihasilkan pada tabung Durham (Prayitno, 2009)

Prinsip utama dalam metode MPN ini adalah sampel diencerkan sampai tingkat tertentu sehingga didapatkan konsentrasi mikroorganisme yang sesuai dan jika ditanam dalam tabung menghasilkan frekuensi pertumbuhan tabung positif. Semakin besar jumlah sampel yang dimasukkan (semakin rendah pengenceran yang dilakukan) maka semakin sering tabung positif yang muncul. Semua tabung yang dihasilkan sangat tergantung dengan probabilitas sel yang terambil oleh pipet saat memasukkannya dalam media. Oleh karena itu, homogenisasi sangat memengaruhi metode ini (International Standard Organization, 2007). Kombinasi kemunculan positif atau negatif ini menggambarkan perkiraan konsentrasi mikroorganisme pada sampel sebelum diencerkan.

2.6.3 Tahapan Uji MPN

Metode MPN terdiri dari dua tahap untuk mengukur *kandungan Total Coliform*, yaitu uji pendugaan (*presumptive test*) dan uji konfirmasi (*confirmed test*) (APHA, 2006).

a. Uji pendugaan (*Presumptive Test*)

Uji pendugaan mendeteksi sifat fermentatif *Coliform* dalam sampel. Uji pendugaan dilakukan karena beberapa jenis bakteri selain *Coliform* juga memiliki sifat fermentatif. Tahap uji pendugaan, setiap tabung yang menghasilkan gas dalam masa inkubasi diduga mengandung bakteri *Coliform*. Medium yang digunakan adalah kaldu laktosa. Bakteri *Coliform* menggunakan laktosa sebagai

sumber karbonnya. Tes ini dikatakan positif jika setelah inkubasi 37⁰C selama 48 jam laktosa yang telah difermentasi akan berubah warna dan terbentuk gas yang ditampung oleh tabung durham yang diletakkan terbalik. Dalam tahap ini, keberadaan *Coliform* masih dalam tingkat probabilitas rendah, masih dalam dugaan. Maka diperlukan uji konfirmasi untuk mengetes kembali kebenaran adanya *Coliform*.

b. Uji konfirmasi (*Confirmed Test*)

Uji konfirmasi merupakan uji lanjutan dari uji pendugaan. Uji konfirmasi dilakukan untuk mengkonfirmasi bahwa gas yang terbentuk disebabkan oleh bakteri *coliform* dan bukan disebabkan oleh kerja sama beberapa spesies sehingga menghasilkan gas. Untuk uji konfirmasi digunakan *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB) yang diinokulasi dengan satu mata ose media yang memperlihatkan hasil positif pada uji duga. Kaldu BGLB diinkubasikan pada suhu 35⁰C selama 48 jam. Jumlah *Coliform* dapat dihitung dengan menggunakan tabel Hopkins yang lebih dikenal dengan metode MPN. Untuk mengkalkulasikan hasil kombinasi tabel yang didapat menggunakan **persamaan 2.25** (APHA, 2006).

$$\text{Nilai MPN (dari tabel)} \times \frac{10}{\text{Volume sampel paling besar}} = \frac{\text{MPN}}{100} \text{ ml} \dots \dots \dots (2.25)$$

2.6.4 Dampak Bakteri *Eschericia coli*

Bakteri *Eschericia coli* dapat menyebabkan beberapa penyakit (Jawetz et al., 2013):

1. Diare

Bakteri Total *Coliform* yang menyebabkan diare salah satunya yaitu *E.coli* sebagai penyebab diare yang sangat umum di seluruh dunia. Berdasarkan sifat virulensinya, *E.coli* dibedakan menjadi:

a. *Escherichia coli* *Enteroinvasive* (EIEC)

Menyebabkan penyakit yang mirip dengan *Shigellosis* yang menyerang sel epitel mukosa usus.

b. *Escherichia coli* *Enteroagregative* (EAEC)

Menyebabkan diare yang akut dan kronis (dalam jangka waktu lebih dari 14 hari) dengan cara melekat pada mukosa intestinal, menghasilkan enterotoksin

dan sitotoksin, sehingga merusak mukosa, pengeluaran sejumlah besar mukus dan terjadi diare.

c. *Escherichia coli Enteropathogenic* (EPEC)

Merupakan penyebab utama diare pada bayi, khususnya di negara berkembang. Bakteri ini melekat pada usus kecil. Infeksi EPEC mengakibatkan diare cair yang sulit diatasi dan kronis.

d. *Escherichia coli Enterotoxigenic* (ETEC)

Beberapa *strain* ETEC memproduksi eksotoksin dengan sifat labil terhadap panas (LT) dan toksin yang stabil terhadap panas (ST). Infeksi ETEC mengakibatkan gejala sakit perut, kadang disertai demam, muntah dan terdapat darah pada feses.

e. *Escherichia coli Enterohemorrhagic* (EHEC) *Serotipe*

Escherichia coli yang memproduksi verotoksin yaitu EHEC O157:H7. EHEC memproduksi toksin dengan sifat yang hampir sama dengan toksin *Shiga* yang diproduksi oleh *strain Shigella dysenteriae*. Verotoksin yang dihasilkan menghancurkan dinding mukosa menyebabkan pendarahan.

2. Infeksi Otak (Meningitis)

Bakteri *Escherichia coli* dan *Streptococcus* adalah penyebab utama meningitis pada bayi. *Escherichia coli* merupakan penyebab pada sekitar 40% kasus meningitis neonatal

3. Infeksi Paru-paru (Pneumonia)

Di rumah sakit *Escherichia coli* menyebabkan kurang lebih 50% dari *Primary Nosocomial Pneumonia*

4. Infeksi Saluran Kemih (ISK)

Bakteri *Escherichia coli* merupakan penyebab infeksi saluran kemih kira-kira pada 90 % wanita muda. Gejalanya antara lain sering kencing, disuria (rasa sakit atau terbakar saat buang air kecil pada bagian uretra), hematuria (adanya sel-sel darah putih pada urin), dan piuria (adanya nanah dalam urin).

2.7 Aplikasi EPANET 2.2 dalam Analisa Jaringan Distribusi

Environmental Protection Agency Network (Epanet) adalah sebuah program komputer (model) yang melaksanakan simulasi hidraulik dan perilaku kualitas air di dalam suatu jaringan pipa distribusi air minum (pipa bertekanan). Suatu jaringan distribusi air minum terdiri dari pipa-pipa, node (percabangan pipa), pompa, tangki air atau reservoir dan katup-katup (PUPR, 2000). Epanet menajaki aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik, kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran serta simulasi usia air (Rossman, 2000).

Program *Epanet* mempunyai *tools* yang cukup efisien dan mudah untuk membuat layout jaringan distribusi baik berskala maupun sistematis. Dalam membuat suatu model jaringan distribusi, *Epanet* secara default akan memberi label node dan pipa yang kita buat. Dalam membuat model skematik kita dapat memasukkan data panjang pipa secara manual, sedangkan jika model yang kita buat adalah berskala maka secara otomatis *Epanet* akan menghitung panjang pipa berdasarkan panjang garis yang kita buat dikalikan skala yang telah kita tentukan (Rossman, 2000).

Data-data yang dibutuhkan dalam *Epanet* sangat penting sekali dalam proses analisa, evaluasi, dan simulasi jaringan distribusi air berbasis *Epanet*. Input data yang dibutuhkan adalah (Rossman, 2000):

- a. Peta
- b. Node/junction/titik dari komponen distribusi
- c. Elevasi – Panjang pipa distribusi
- d. Diameter dalam pipa
- e. Jenis pipa yang digunakan
- f. Jenis sumber (mata air, sumur bor, IPAM, dll)
- g. Spesifikasi pompa (bila menggunakan pompa)
- h. Beban masing-masing node (besarnya tapping)
- i. Faktor fluktuasi pemakaian air
- j. Konsentrasi klor di sumber

Output yang dihasilkan diantaranya adalah (Rossman, 2000):

- a. Hidrolik head dari masing-masing titik
- b. Tekanan dan kualitas air

EPANET dapat melakukan kajian fenomena kualitas air seperti (Rossman, 2000):

- a. Usia air dalam sistem
- b. Kehilangan sisa klor
- c. Melacak kontaminan

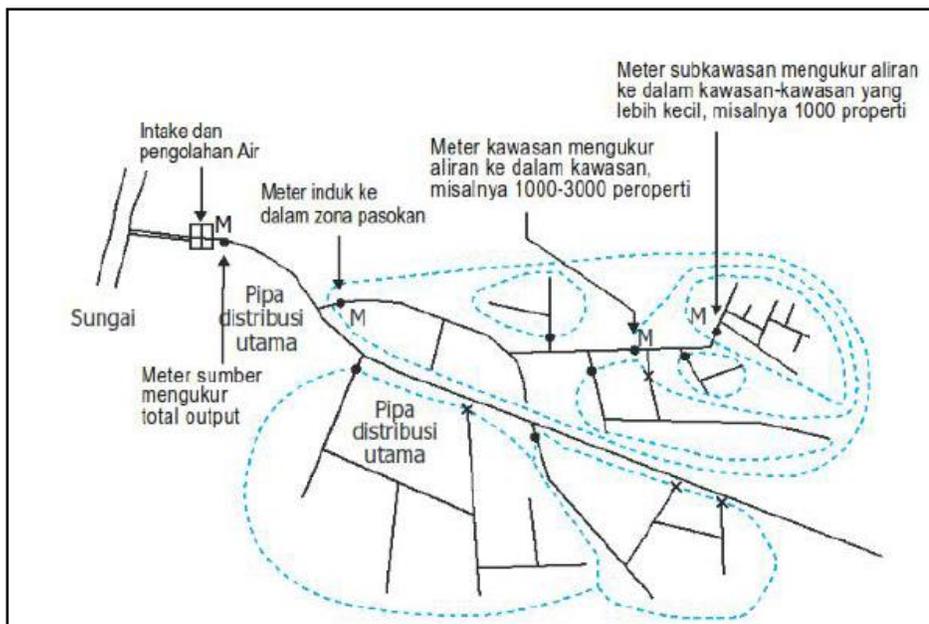
Ada beberapa macam tipe simulasi yang dapat dilakukan, tergantung dari tujuan model itu dibuat. Dua tipe yang paling umum digunakan adalah (Haestad dkk, 2004):

1. *Steady-state simulation*, menghitung sistem yang diinginkan (aliran, tekanan, pompa, posisi katup, dan sebagainya) dan mengasumsikan bahwa *hydraulic demands* dan kondisi jaringan tidak berubah terhadap waktu.
2. *Extended period simulation* (EPS), menentukan sifat dinamis dari sebuah sistem terhadap perjalanan waktu, dan menghitung keadaan sistem sebagai seri dari *steady-state simulations* dimana *hydraulic demands* dan kondisi jaringan berubah terhadap waktu. Model simulasi ini memperhitungkan pola waktu pemakaian (time pattern) yang merupakan perbandingan nilai debit pemakain perjam dengan nilai debit puncak perhari. Pola tersebut berupa kumpulan faktor pengali yang dapat diaplikasikan sebagai kuantitas yang bervariasi terhadap waktu. Interval waktu yang digunakan dalam seluruh pola merupakan nilai yang diatur selama 24 jam pengaliran.

2.8 District Meter Area (DMA)

Dalam manajemen kehilangan air baik secara fisik dan non fisik dibutuhkan pemantauan secara terus-menerus. Untuk kehilangan air secara fisik dapat mengefektifkan penggunaan perangkat deteksi kehilangan air karena dapat diketahui dimana kemungkinan terjadinya kehilangan air yang lebih tinggi (Özdemir, 2018). Agar pemantauan dapat efektif maka jaringan pendistribusian SPAM perlu dibuat batasan-batasan yang terukur, dan konsep ini telah banyak diterapkan yang disebut *District Metered Area* (DMA).

Kawasan Bermeter (DMA) merupakan suatu cara penurunan kehilangan air dengan cara membagi satu jaringan pasokan air menjadi zona-zona kawasan bermeter. DMA bertujuan untuk mendeteksi suatu kebocoran pada suatu bagian sistem jaringan distribusi yang difokuskan menjadi satu wilayah deteksi kebocoran (Farley et al., 2008). Dengan kata lain, suatu daerah jaringan distribusi diisolasi untuk melihat potensi terjadinya kebocoran di daerah tersebut (Yekti et al., 2020). Pembagian Jaringan Distribusi ke dalam DMA dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Pembagian Jaringan Distribusi ke dalam DMA.

Sumber: Wirawan, 2020

Kriteria rancangan DMA harus benar-benar diperhatikan untuk menghasilkan sistem yang efektif. Kriteria tersebut antara lain yaitu jumlah sambungan pada DMA umumnya antara 1000-2500 sambungan, jumlah katup yang harus ditutup untuk mengisolasi DMA, banyaknya meter air untuk mengukur air masuk dan air keluar (semakin sedikit meter yang diperlukan, semakin kecil biaya pembentukan), variasi permukaan tanah yang berpengaruh terhadap tekanan di dalam DMA (semakin datar kawasan, semakin stabil tekanan yang ada sehingga lebih mudah untuk membentuk kendali tekanan) (Farley et al., 2008).

2.9 PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang merupakan Perusahaan Daerah yang bergerak dalam bidang jasa pelayanan air minum kepada masyarakat. PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang mempunyai kegiatan usaha meliputi pengelolaan dan pendistribusian pelayanan air bersih yang memenuhi persyaratan kesehatan kepada masyarakat secara merata, tertib dan teratur.

2.9.1 Sejarah Singkat PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

PDAM Kota Padang Panjang (atau yang kini dikenal sebagai PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang berdasarkan PP No. 54 Tahun 2017 tentang Badan Usaha Milik Daerah) didirikan dengan Peraturan Daerah (PERDA) Kota Padang Panjang Nomor 03 Tahun 1979 tanggal 18 Januari 1979 dan telah dicatat Lembaran Daerah Nomor 02 tahun 1980, yang sebelumnya merupakan Seksi Air Minum di bawah koordinasi Bagian Pemerintahan Kantor Walikota Padang Panjang. Pada tanggal 17 Mei 1982 PDAM Kota Padang Panjang secara operasional berubah menjadi Perusahaan Daerah dengan kekayaan yang dipisahkan. Pada tahun 2002 Pemerintah Kota Padang Panjang mempertegas kembali status PDAM sebagai Perusahaan milik Pemerintah Kota Padang Panjang dengan menetapkan Perda Nomor 2 tahun 2002 tentang Status Perusahaan Daerah Air Minum Kota Padang Panjang dan beberapa Perda sebagai operasional PDAM Kota Padang Panjang yaitu Perda Nomor 3 tahun 2002 tentang Pembentukan Organisasi dan Tata Kerja Perusahaan Daerah Air Minum Kota Padang Panjang. Perda Nomor 4 tahun 2002 tentang Pokok Pokok Pengelolaan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Padang Panjang. Sebagai tindak lanjut petunjuk pelaksanaan Perda tersebut telah ditetapkan Keputusan Walikota Padang Panjang tentang PDAM yaitu :

1. Keputusan Walikota Nomor 3 tahun 2002 tentang Petunjuk Pelaksanaan Peraturan Daerah Kota Padang Panjang Nomor 3 tahun 2002 tentang Pembentukan Organisasi dan Tata Kerja Perusahaan Daerah Air Minum Kota Padang Panjang.

2. Keputusan Walikota Nomor 4 tahun 2002 tentang Petunjuk Pelaksanaan Peraturan Daerah Kota Padang Panjang Nomor 4 tahun 2002 tentang Pokok Pokok Pengelolaan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Padang Panjang.

Adapun kegiatan pokok perusahaan adalah menyelenggarakan pelayanan umum atas pengelolaan air bersih dan air minum untuk masyarakat, yang memenuhi standar kesehatan. PDAM Kota Padang Panjang memiliki 7 sumber air aktif, dengan total kapasitas 233,99 L/detik dan 5 Bak Penampung (Reservoir) dengan total kapasitas keseluruhan 1650 L/ Detik. Pelayanan air bersih untuk masyarakat Padang Panjang sudah berlangsung sejak tahun 1913 (Bak Intake Kandang di Tabek dan Reservoir Bak di Atas). Peta kondisi eksisting, peta wilayah SPAM dan Skema zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Padang Panjang dapat dilihat pada **Gambar 2.7**, **Gambar 2.8** dan **2.9**.

2.9.2 Daerah Pelayanan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

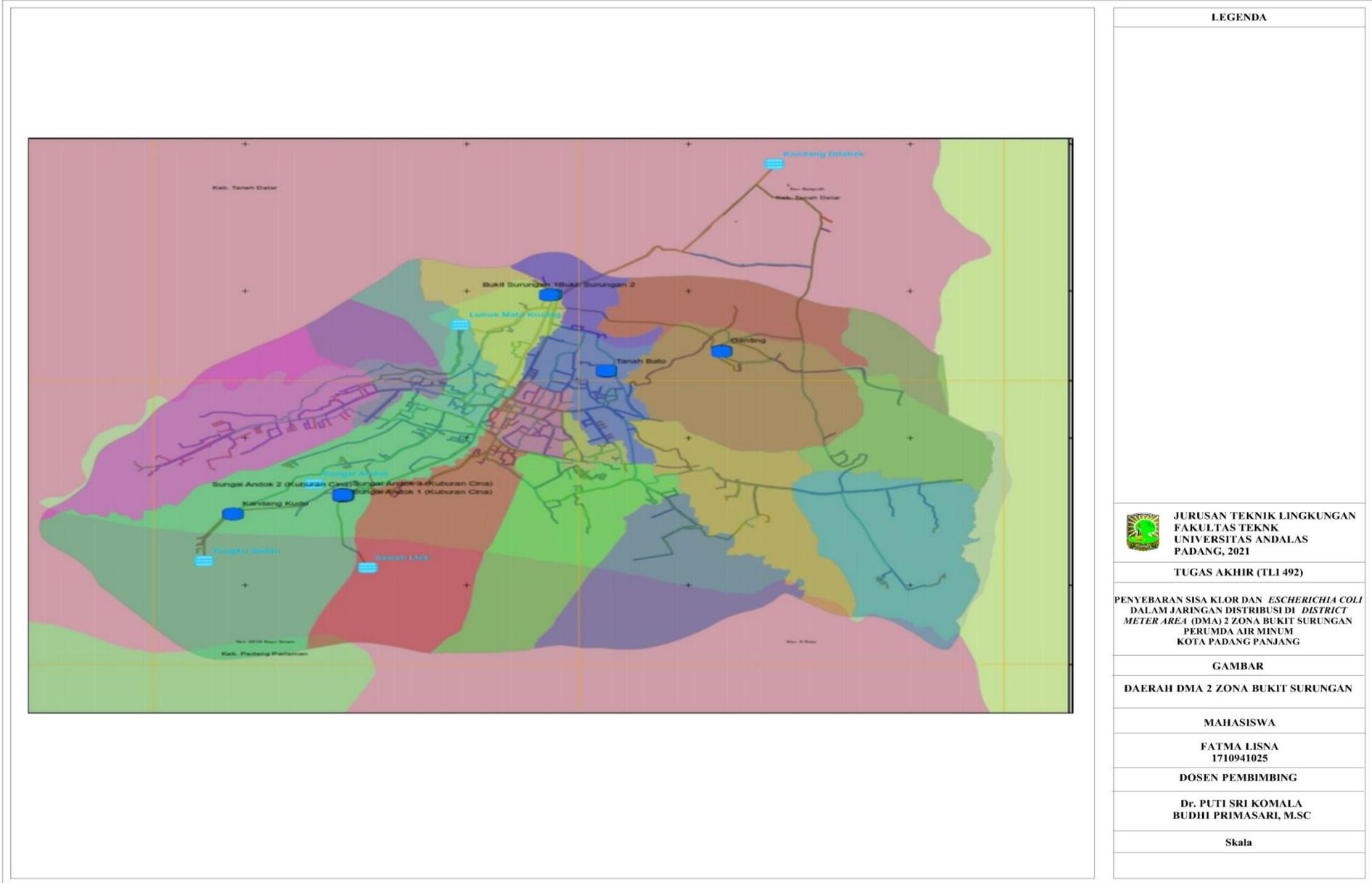
Jumlah penduduk Kota Padang Panjang yang terlayani sebanyak 52.895 jiwa dengan tingkat pelayanan 80,72%. PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang melayani dua wilayah administratif, yaitu:

- a. Wilayah Administratif Kota Padang Panjang

Wilayah ini terdiri dari 2 (dua) kecamatan dan 16 (enam belas) kelurahan, dengan jumlah pelanggan aktif sebanyak 8.056 sambungan rumah tahun 2020;

- b. Wilayah Administratif Kabupaten Tanah Datar

Penduduk sekitar sumber air Kandang Ditabek Nagari Paninjauan Kecamatan X Koto Tahun 2017 dengan jumlah pelanggan aktif sebanyak 483 sambungan rumah. Pembagian daerah pelayanan berdasarkan kecamatan atau daerah pelayanan yang lebih dekat dengan sumber air baku. Sumber air PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang dapat dilihat pada **Tabel 2.8**. Data jaringan pipa distribusi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.



LEGENDA



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS ANDALAS
 PADANG, 2021

TUGAS AKHIR (TLI 492)

PENYEBARAN SISA KLOR DAN *ESCHERICHIA COLI*
 DALAM JARINGAN DISTRIBUSI DI DISTRICT
 METER AREA (DMA) 2 ZONA BUKIT SURUNGAN
 PERUMDA AIR MINUM
 KOTA PADANG PANJANG

GAMBAR

DAERAH DMA 2 ZONA BUKIT SURUNGAN

MAHASISWA

FATMA LISNA
 1710941025

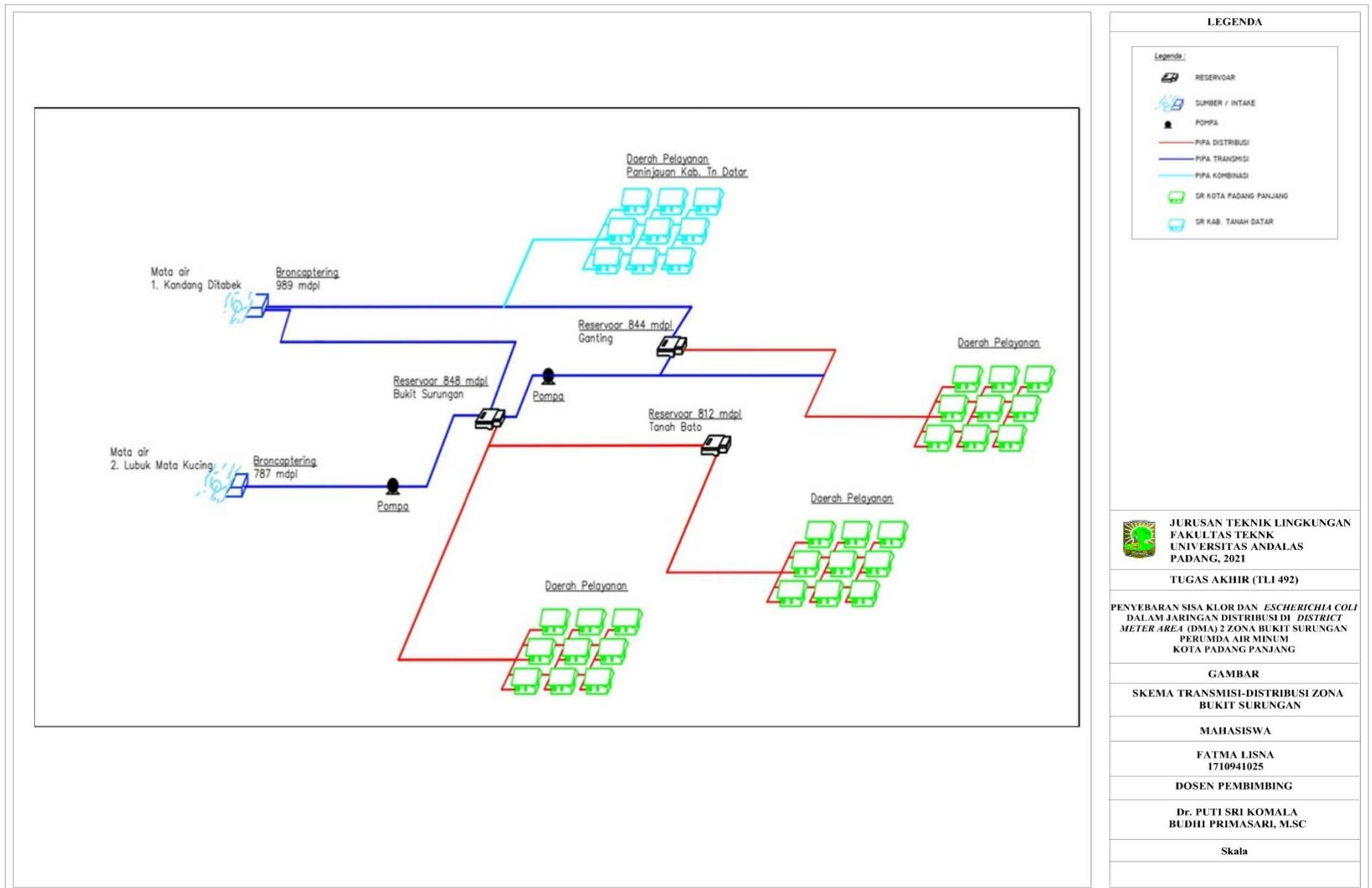
DOSEN PEMBIMBING

Dr. PUTI SRI KOMALA
 BUDHI PRIMASARI, M.SC

Skala

Gambar 2.7 Peta Wilayah SPAM PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

Sumber : PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang, 2021



Gambar 2.8 Skema Transmisi-Distribusi Zona Bukit Surungan

Sumber : PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang, 2021



Gambar 2.9 Peta Jaringan Distribusi Zona Bukit Surungan

Sumber : PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

Tabel 2.9 Reservoir Pelayanan PDAM Kota Padang Panjang

No	Sumber Air		Lokasi Sumber		Nama Reservoir		Sistem Pengaliran	Kapasitas terpasang	Tahun Fisik		Wilayah Layanan	
								l/dt	Pembangunan	Rehabilitasi		
1	Kandang Tabek (Mata Air)	Di	Nagari Paninjauan		Busur 1 dan Ganting	Gravitasi	42,00	1903	-		Nagari Paninjauan, Padang Panjang Timur	
2	Lubuk Kucing (Mata Air)	Mata	Padang Barat	Panjang	Bukit Surungan 1	Gravitasi	16,00	1989	2017		Padang Panjang Barat dan Padang Panjang Timur	
	Lubuk Kucing (Mata Air)	Mata	Padang Barat	Panjang	Bukit Surungan 2	Gravitasi	100,00	1989	2017		Padang Panjang Barat	
3	Tungku Sadah (Air Permukaan)		Kampung Manggis Panjang Barat	Padang	Kandang Kudo > Kuburan Cino Bak 1	Gravitasi	25,00	1997	-		Padang Panjang Barat dan Padang Panjang Timur	
4	Sawah Liek. (Air Permukaan)		Koto Padang Timur	Panjang	Kuburan Cino Bak 3	Gravitasi	15,00	2005	-		Padang Panjang Barat dan Padang Panjang Timur	
5	Kuok (Paninjauan) (Air Permukaan)		Nagari Paninjauan			Gravitasi	2,99	2013	-		Padang Panjang Timur	
6	Koto Katiak (Mata Air)		Koto Padang Timur	Katiak Panjang		Gravitasi	3,00	2010	-		Padang Panjang Timur	
7	Sungai Andok (Mata Air)		Sungai Padang Barat	Andok Panjang	Kuburan Cino Bak 2	Gravitasi	30,00	2015	-		Padang Panjang Barat dan Padang Panjang Timur	
TOTAL								233,99				

Sumber : PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

Tabel 2.10 Data Pipa pada Jaringan Distribusi DMA 2.

	Lokasi Jaringan Pipa	Jenis Pipa	D (inci)	Jarak (m)	Waktu Pembangunan Pipa	Umur Teknis Pipa
Jalan Soekarno Hatta						
1	Bak Reservoir, Bukit Surungan - Bak BPT, Tanah Bato	HDPE	6"	1300	2016	4 Tahun
2	Bengkel Sei. Talang - Batas Kota - Perumahan Guru Busur	PVC	2"	1.221	2007	13 Tahun
3	Belakang Rumah Wakil Walikota - Jalan Hamid Hakim Depan Rumah Ortu Safwan Hadi	PVC	2"	410	2006	14 Tahun
4	Belakang Pengadilan - Jembes	PVC	2"	254	1995	25 Tahun
5	Simpang Bak Aie Bukit Surungan - Jalan Soekarno Hatta - Mesjid Jihadu	PVC GI	3" 2"	802 410	1990	30 Tahun
6	Reservoir Bukit Surungan - Depan PDAM	PVC	3"	1.385	1990	30 Tahun
7	Jalan Soekarno Hatta (Gang Kamboja - SD Busur) dan Gang Ester - Mesjid Dekat Rumah dr. Zulfa	PVC GI	2" 1"	325 168	1990	30 Tahun
8	Reservoir Busur - Depan PDAM	DCIP	6"	1.665	1973	47 Tahun
9	Reservoir Busur - Simpang Pasific Bukit Surungan	PVC	6"	204	1973	47 Tahun
Jalan Prof Dr Hamka						
1	Perumahan Belakang AKPER NABILA Terminal Busur	HDPE	11"	250	2018	2 Tahun
2	Reservoir 3 Busur Jl. Prof. DR. Hamka - Jl. El Yunusiah depan SD 01 Paus	HDPE	6"	1.700	2018	2 Tahun
3	Depan Puskesmas Busur	PVC	2"	100	2015	5 Tahun
4	Pasar Sayur Bukit Surungan	PVC	2"	210	2006	14 Tahun
5	Simpang Terminal Busur - Simpang Lubuk Mata Kucing	PVC	2"	540	2000	20 Tahun
6	Depan Pesona Penganten - Simpang Lubuk Mata Kucing	PVC	3"	264	1994	26 Tahun

	Lokasi Jaringan Pipa	Jenis Pipa	D (inci)	Jarak (m)	Waktu Pembangunan Pipa	Umur Teknis Pipa
7	Jalan Soekarno Hatta - Depan Pesona Penganten	PVC	3"	800	1993	27 Tahun
Jalan R. El Yunusiah, Jalan Hamid Hakim, Jalan Syech M. Rasyidi (Suka Maju)						
1	Belakang SD 01 Pasar Usang - Suka Maju	PVC	2"	335	2011	9 Tahun
2	Depan PDAM - Depan Rumah Safwan Hadi Pasar Usang	PVC	2"	622	2011	9 Tahun
3	Simpang Padang - Simpang Suka Maju	PVC	3"	376	2009	11 Tahun
4	Simpang Thawalib Putra - BKD	PVC	3"	506	2005	15 Tahun
5	Kampung Baru - Brimob Silaing Atas	PVC	2"	524	1995	25 Tahun
6	Gang Sempit Pasar Usang	PVC	3"	150	1995	25 Tahun
7	Simpang Lubuk Mata Kucing - Simpang Kampung Baru Suka Maju	PVC	2"	600	1994	26 Tahun
8	Belakang Rumah Sekda - Suka Maju	GI	2"	436	1990	30 Tahun
9	Depan PLN Lama - Depan Gerbang Mesjid Jembes -Simpang Gang Sempit (Jl. R. EL Yunusiah)	GI	2"	77	1976	44 Tahun
		GI	1"	114	1976	44 Tahun
10	Simp. Lb. Mata Kucing - Depan Rumah Ortu Wan PDAM	PVC	3"	64	1976	44 Tahun
		GI	3"	200	1976	44 Tahun
11	Rumah Camat X Koto - Terminal Pasar Usang	GI	3"	200	1976	44 Tahun
		DCIP	8"	600	1973	47 Tahun
12	Depan PDAM - Jl. R. El Yunusiah - BKD - Gatangan	DCIP	8"	600	1973	47 Tahun

Sumber: Perumda Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

Tabel 2.11 Jumlah Pelanggan Masing-masing Zona Pelayanan

No.	Wilayah Pelayanan	Pelanggan (SR)	Rata Rata Konsumsi (m ³ /hari)
1.	Zonasi Silaing Bawah	663	912
2.	Zona Bukit Surungan	3,609	7,739
3.	Zona Sawah Like	1,808	1,164
4.	Zona Tungku Sadah	1,502	3,192
5.	Zona Sungai Andok	1,601	524
Total		9,183	13,532

Sumber: Perumda Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

2.9.3 Sumber Air Baku dan Bangunan Penangkap

Sumber air baku PDAM Kota Padang Panjang terdiri dari air permukaan dan mata air. Adapun sumber air PDAM Kota Padang Panjang sebagai berikut:

1. Sumber Kandang Ditabek

Sumber ini dibuat pada tahun 1913 dengan sistem pendistribusian secara gravitasi mengalir wilayah layanan Nagari Paninjauan dan sebagian wilayah Kelurahan Ganting dan Kelurahan Sigando. Sumber ataupun intake ini mengalir air dengan keluaran pipa transmisi berdiameter 150 mm (6") dan 100 mm (4") lengkap dengan *Watermeter* induknya. Adapun total debit produksi berkisar antara (25- 40) L/detik. Kapasitas terpasang 45 L/detik dan kapasitas produksi 25 L/detik (maksimal).

2. Sumber Lubuk Mata Kucing

Pembangunan pada tahun 1989 berfungsi untuk mengalir air penduduk Kota Padang Panjang secara gravitasi dan perpompaan. Saat ini Lubuk Mata Kucing mempunyai lima buah pompa produksi dimana seluruh pompa berfungsi menambah kapasitas produksi air di Bak Reservoir Bukit Surungan yang didukung dengan pipa induk/ pipa transmisi masing-masing berdiameter 150 mm, 200 mm dan 250 mm.

Sumber/ Intake Lubuk Mata Kucing dengan pengaliran secara pompa mempunyai kapasitas desain sebesar 90 L/detik dan kapasitas produksi 73 L/detik didukung dengan dua pipa transmisi berdiameter 100 mm (4") membantu mengalir air untuk produksi bak air Reservoir Bukit Surungan.

3. Sumber Air Tungku Sadah

Sumber ini merupakan air permukaan yang memanfaatkan bendungan penangkap. Pembangunan awal pada tahun 2000 mempunyai kapasitas produksi air (20-35) L/detik. Namun, pada saat musim kemarau menyusut drastis hingga mencapai 5 L/detik. Intake ini didukung dengan beberapa pipa produksi/ transmisi berdiameter 100 mm yang menyuplai air dengan sistem gravitasi terhadap Reservoir Kuburan Cina dan Reservoir Kandang Kudo. Kapasitas terpasang 25 L/detik dan kapasitas produksi 18 L/detik.

4. Sumber Air Kumayan/ Sawah Liek

Sumber air ini dibuat bersamaan dengan Intake Tungku Sadah pada tahun 2000 dan langsung menyuplai kebutuhan Reservoir Kuburan Cina didukung dengan pipa produksi berdiameter 100 mm serta total produksi Sumber Air Sawah Liek ini bisa mencapai 10 L/detik dan kendala produksi juga tergantung dengan keadaan iklim yaitu jika terjadi musim kemarau sehingga air permukaan akan surut drastis. Kapasitas terpasang 10 L/detik dan kapasitas produksi 8 L/detik.

5. Sumber Air Pompa Sungai Andok

Pembangunan pada tahun 2015 dengan dana DAK bersumber dari APBN sebesar 1,8 Miliar terdiri dari rumah jaga, rumah pompa, pipa produksi dan pompa 35KW. Mata air ini dibangun untuk menyuplai air Reservoir Kuburan Cina dengan desain pompa produksi 30 L/detik. Panjang pipa dari intake ke reservoir \pm 300 meter dengan diameter 250 mm.

2.9.4 Sistem Pengolahan

PDAM Kota Padang Panjang memiliki 7 unit produksi. Pengolahan air yang dilakukan oleh PDAM Kota Padang Panjang merupakan pengolahan tidak lengkap hanya dengan disinfeksi. Instalasi pengolahan air yang terdapat pada PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang dapat dilihat pada **Tabel 2.12**

Tabel 2.12 Unit IPA PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

Sumber: Perumda Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

No	Nama Unit IPA	Lokasi Sumber	Jenis Sumber	Pengolahan	Sistem Pengaliran
1.	Kandang	Paninjauan	Mata Air	Tidak Lengkap	Gravitasi
2	Lubuk Mata	Lubuk Mata	Mata Air	Tidak Lengkap	Gravitasi, Pompa
3	Kucing Tungku Sadah	Kucing Sei Andok	Air Permukaan	Tidak Lengkap	Gravitasi
4	Sawah Like	Sei Andok	Air Permukaan	Tidak Lengkap	Gravitasi
5	Kuok	-	Air Permukaan	Tidak Lengkap	Gravitasi
6	Koto Katiak	-	Mata Air	Tidak Lengkap	Gravitasi
7	Sungai Andok	-	Mata Air	Tidak Lengkap	Gravitasi, Pompa

2.9.5 Kualitas Air

Kualitas air produksi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang khususnya wilayah layanan zona Bukit Surungan dibandingkan dengan baku mutu PERMENKES No. 492 Tahun 2010 dan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum dapat dilihat pada **Tabel 2.13** berikut.

Tabel 2.13 Karakteristik Air Reservoir Bukit Surungan.

No	Parameter	Satuan	Pengukuran	Baku Mutu*
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i>	Per 100 ml sampel	0	0
2	<i>Total Coliform</i>	Per 100 ml sampel	0	0
Fisika				
1	Bau		Tidak berbau	Tidak berbau
2	Rasa		Tidak berasa	Tidak berasa
3	Warna	TCU	2,5	15
4	Total zat padat terlarut (TDS)	mg/L	194	500
5	Kekeruhan	NTU	-	5
6	Suhu	°C	23	Suhu udara ± 3
Kimia				
1	Nitrit (Sebagai NO ₂)	mg/L	-	1
2	Besi	mg/L	0,02	1
3	Kesadahan	mg/L	160	500
4	Mangan	mg/L	0,01	0,5
5	pH	mg/L	7,1	6,5 - 8,5
6	Sulfat	mg/L	-	400
7	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/L	0,32	10
8	Sisa klor	mg/L	0,25	0,2-1**

Sumber: PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang, 2021

Keterangan:

*) Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

***) Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Air Minum

Sumber air baku yang digunakan oleh PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang untuk Zona Bukit Surungan berasal dari sumber mata air Kandang Ditabek. Reservoir zona bukit surungan tidak melalui instalasi pengolahan lain selain disinfeksi. Disinfektan yang digunakan adalah Kaporit dengan dosis 0,5-1,0 mg/L dan waktu kontak selama 30 menit. Berdasarkan hasil pengukuran, parameter fisika, kimia dan mikrobiologi dari sampel air reservoir Bukit Surungan telah memenuhi persyaratan kualitas air minum.

2.10 Metode Statistik

Statistik adalah suatu metode ilmiah dalam mengumpulkan, mengklasifikasikan, meringkas, menyajikan, menginterpretasikan, dan menganalisis data guna mendukung pengambilan kesimpulan yang valid dan berguna sehingga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang masuk akal. Analisis statistik dapat dilakukan secara manual dan dengan menggunakan program komputer. Analisis statistik menggunakan program komputer memiliki banyak kelebihan, yaitu membantu perhitungan menjadi sederhana, mudah bahkan lebih singkat dalam waktu pengerjaan serta memiliki tingkat akurasi yang tinggi (Harinaldi, 2005).

2.10.1 Uji Normalitas

Tujuan dilakukannya uji normalitas adalah untuk menguji apakah dalam sebuah model regresi, variabel terikat, variabel bebas atau keduanya mempunyai distribusi normal atau tidak. Syarat untuk mendapatkan model regresi yang baik adalah distribusi datanya normal atau mendekati normal. Suatu model dikatakan berdistribusi normal jika model tersebut menghasilkan grafik data yang menyebar di sekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal. Dengan profil data seperti ini, maka data tersebut dianggap bisa mewakili populasi (Santoso, 2003).

Penelitian yang melakukan sampling pada titik - titik koordinat yang teratur dan menghasilkan data yang beragam, maka untuk mengolah data sampling tersebut dibutuhkan deskripsi uji yang mencakup deskripsi statistik, uji normalitas, dan grafik. Metoda yang memungkinkan untuk ini adalah uji Kolmogorov - Smirnov untuk sampel melebihi 50 dan Shapiro - Wilk untuk sampel kurang dari 50 yang disertai grafik Normal Probability Plots (Santoso, 2003).

Hasil analisis uji normalitas adalah membandingkan (uji perbedaan) antara data yang dimiliki dengan data terdistribusi normal yang memiliki mean dan standar deviasi yang sama dengan data yang dimiliki. Jika hasil uji tersebut tidak signifikan ($p < 0,05$) maka data tersebut disebut data yang tidak terdistribusi normal. Sebaliknya bila hasil uji tersebut signifikan ($p > 0,05$), maka data yang diuji tersebut memiliki distribusi normal.

2.10.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi di gunakan untuk mengetahui derajat hubungan linear antara satu variabel dengan variabel lain. Untuk mengetahui hubungan antar variabel jika data yang digunakan memiliki skala interval atau rasio disebut Korelasi Produk Moment atau *Pearson*. Dasar pemikiran analisis korelasi Produk Moment adalah perubahan antar variabel, artinya, jika perubahan suatu variabel diikuti perubahan variabel yang lain maka kedua variabel tersebut saling berkorelasi (Ponto, 2015).

Analisis korelasi adalah cara untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan antar variabel. Apabila terdapat hubungan antar variabel maka perubahan – perubahan yang terjadi pada salah satu variabel akan mengakibatkan terjadinya perubahan variabel lainnya (Hasan, 2002):

1. Korelasi Positif.

Korelasi positif adalah korelasi dari dua variabel yang apabila variabel yang satu meningkat atau menurun maka variabel lainnya akan meningkat atau menurun pula;

2. Korelasi Negatif.

Korelasi negatif adalah korelasi dari dua variabel yang apabila variabel yang satu meningkat atau menurun maka variabel lainnya akan menurun atau meningkat;

3. Tidak ada korelasi, terjadi apabila kedua variabel tidak menunjukkan adanya hubungan.

Koefisien korelasi memiliki suatu pelambangan yang menyatakan hubungan. Besar kecilnya hubungan antar variabel dinyatakan dengan angka indeks yang disebut koefisien korelasi. Koefisien korelasi dilambangkan dengan huruf (r). Nilai hubungan antara 2 variabel didasarkan nilai koefisien korelasi. Jika nilai koefisien korelasi mendekati $+1$ (bernilai positif) memberi arti hubungan yang searah dan koefisien korelasi mendekati -1 (bernilai negatif) memberi arti hubungan berbanding terbalik. Korelasi mendekati nilai positif 1 atau nilai negatif 1 berarti terdapat hubungan yang kuat, sebaliknya yang mendekati nilai 0 berarti tidak berkorelasi (Sujarweni, 2014). Interpretasi nilai r dapat dilihat pada **Tabel 2.14** berikut ini.

Tabel 2.14 Interpretasi Nilai r

Besar nilai r	Interpretasi
Antara 0,800 sampai dengan 1,000	Sangat Kuat
Antara 0,600 sampai dengan 0,800	Kuat
Antara 0,400 sampai dengan 0,600	Lemah
Antara 0,200 sampai dengan 0,400	Sangat Lemah
Antara 0,000 sampai dengan 0,200	Tak Berkorelasi

Sumber: Sujarweni, 2014

Analisis korelasi bertujuan untuk mengukur "seberapa kuat", atau "derajat kedekatan", suatu relasi yang terjadi antar variabel. Jadi, kalau analisis regresi ingin mengetahui pola relasi dalam bentuk persamaan regresi, maka analisis korelasi ingin mengetahui kekuatan hubungan tersebut dalam koefisien korelasinya. Dengan demikian biasanya analisis regresi dan korelasi sering dilakukan bersama-sama (Harinaldi, 2005).

2.10.3 Statistical Product and Service Solutions (SPSS)

Statistical Product and Service Solutions (SPSS) merupakan salah satu program analisis data yang digunakan untuk membantu melakukan pengolahan dan menganalisis data secara statistik (Susetyo, 2010). SPSS adalah program aplikasi yang memiliki analisis data statistik yang cukup tinggi. SPSS memiliki sistem manajemen data pada lingkungan grafis dengan menggunakan menu-menu deskriptif dan kotak-kotak dialog yang sederhana, sehingga mudah mengoperasikan dan memahaminya. SPSS ini adalah salah satu program aplikasi yang paling banyak diminati dan digunakan oleh para analis dan peneliti untuk mengolah data-data statistik (Machali, 2016).

2.10.4 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi hasil dari pengamatan terhadap nilai sebenarnya. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan yang juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0) menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin akurat model tersebut, dan semakin besar nilai RMSE maka keakuratan

suatu model semakin kecil (Sujarweni, 2014). Nilai RMSE dapat dihitung dengan **persamaan 2.23** berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x-y)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

n = jumlah data

x = data hasil penelitian

y = data prediksi

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait Pemodelan sisa klor dan *Escherichia coli* pada jaringan distribusi telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Dari penelitian terdahulu yaitu pada penelitian Zahrotul (2018) didapatkan kesimpulan adanya pengaruh sisa klor terhadap kadar bakteri *Escherichia coli* pada jaringan pipa distribusi, hal ini terjadi karena diakibatkan oleh adanya peluruhan klor pada jaringan distribusi. Peluruhan klor dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu kebocoran pada pipa distribusi yang mengakibatkan masuknya mikroorganisme ke dalam jaringan sehingga berkontak dengan klor. Penelitian serupa dari Afrianita (2016) menyatakan peluruhan klor juga disebabkan oleh arah pipa dari reservoir, semakin jauh jarak pipa dari reservoir maka konsentrasi klor yang tinggal akan semakin sedikit. Pengaruh kadar klor selain jarak yaitu pH dan Suhu, berdasarkan penelitian L. Monteiro (2014) dan Afrianita (2016) bahwa semakin tinggi nilai suhu maka peluruhan klorin pada pipa akan semakin cepat, sehingga kadar klor akan semakin sedikit. Penelitian terdahulu mengenai penyebaran sisa klor dapat dilihat pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Metode Analisis	Parameter	Hasil
1.	Kajian Kadar Sisa Klor di Jaringan Distribusi Penyedia Air Minum Rayon 8 PDAM Kota Padang (Afrianita, 2016)	Surfer versi 8.0	Pengaruh jarak, pH, dan suhu terhadap sisa klor.	Kadar sisa klor 0,142-0,479 akan berkurang seiring bertambahnya pH, jarak, dan suhu.
2	Residual Chlorine in the Extremities of Drinking Water (Blokker et al,2014)	Epanet MSX	Pengaruh suhu dan waktu tinggal	Adanya pengaruh suhu dan waktu tinggal (umur air) terhadap konsentrasi klorin pada pipa. Didapatkan pada 4 titik lokasi konsentrasi minimum klorin yaitu 0,2 mg/L
3.	Relationship Between Chlorine Decay and Temperature in The Drinking Water (Avila dkk, 2020)	Epanet	Penentuan tingkat peluruhan <i>bulk</i> klorin	Temperatur memengaruhi variasi tingkat reaksi antara klorin dengan air, nilai Kb akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Nilai Kb didapatkan -0,154.
3	Modeling of Chlorine Decay in Drinking Water Supply System Using Epanet(L. Monteiro et al, 2014)	Epanet	Pengaruh suhu	Adanya variasi suhu 10°C, 15°C, 20°C, dan 30°C semakin tinggi suhu maka peluruhan klorin pada pipa akan semakin cepat
4.	Evaluasi dan Analisis Pola Sebaran Sisa Klor Pada Jaringan Distribusi IPA SUNgai Lulut PDAM Bandarmasih (Sofia E & Rony R, 2017)	EPANET 2.0.	Pengaruh posisi injeksi, dosis, serta waktu injeksi klor terhadap sebaran sisa klor bebas.	Nilai Kb -10,19040976 dan nilai Kw -0,5. Sisa Klor= 0,33 mg/L-0,84 mg/L. Jarak jauh sisa klor turun.
5	Relationship Between Chlorine Decay and Temperature in The Drinking Water (Avila dkk, 2020)	Epanet	Pengaruh <i>Bulk</i> dan suhu	Peluruhan <i>bulk</i> klorin dalam air minum bergantung pada beberapa faktor, salah satunya temperatur. Temperatur memengaruhi variasi tingkat reaksi antara klorin dengan air, nilai Kb akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur.
6.	Analisis Simulasi Perubahan Konsentrasi Klorin dalam Pipa Distribusi Penyediaan Air Minum PDAM Demak Zona 3 (Listiyaningrum P. dkk, 2015)	WaterCAD V8i	Analisis umur air dan perubahan konsentrasi klorin.	Nilai <i>bulk reaction</i> yang pada penelitian ini sebesar -9,716 mg/L/hariSemakin tinggi kebutuhan air (demand) umur air pada jaringan distribusi air minum singkat atau rendah
8.	Simulation of Pressure Head and Chlorine Decay in a Water Distribution Network: A Case Study (Alsaydalani M. O. A, 2019)	EPANET	Perilaku hidrolis dan kualitas air pada jaringan distribusi air.	Tekanan normal 17-50 m turun menjadi 5-40 m dengan konsentrasi sisa klor masih di atas 0,2 mg/L. Nilai Kb -0,1008 dan nilai Kw -0,20.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

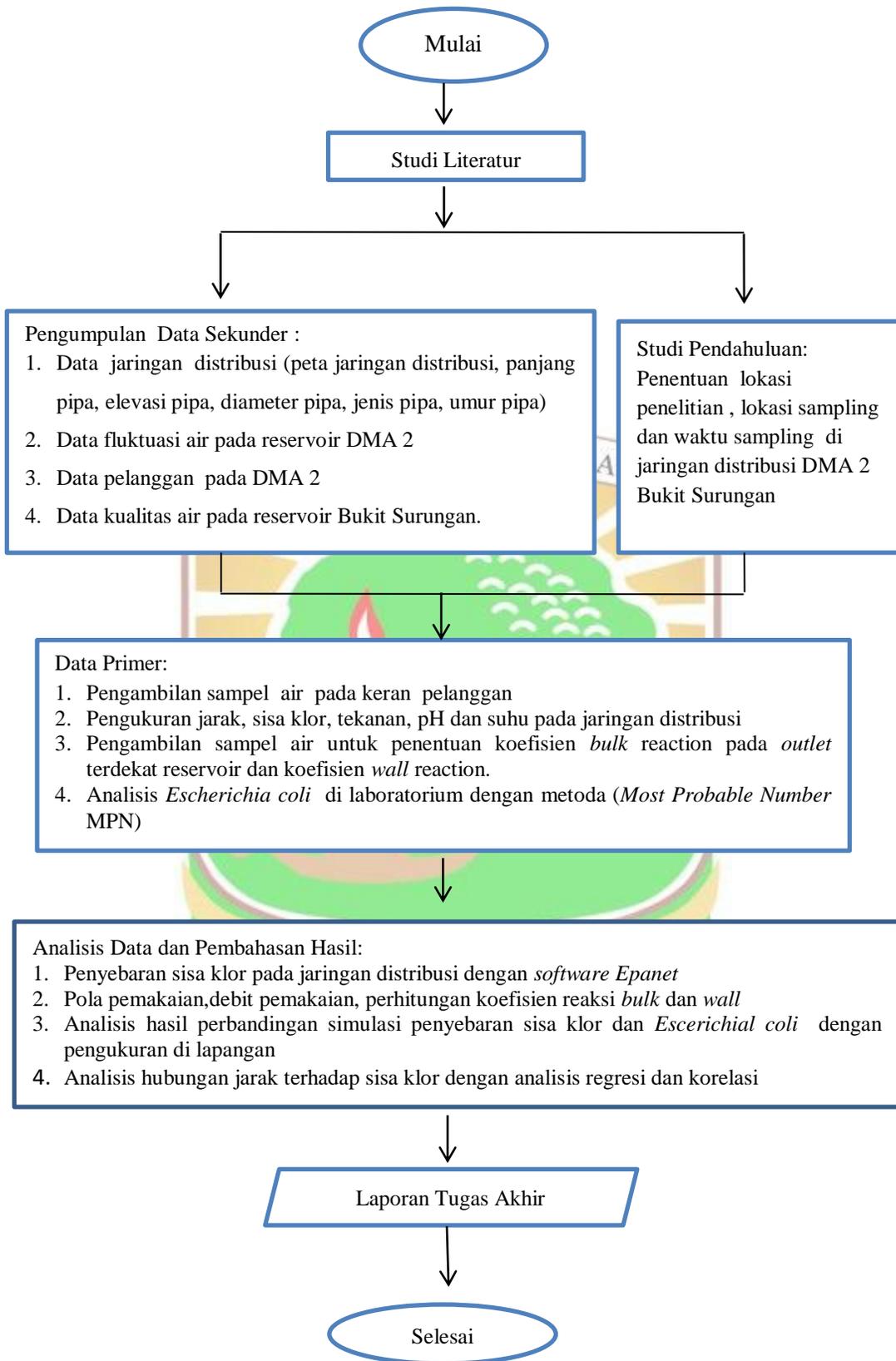
Bab ini menjelaskan mengenai metodologi penelitian dalam pengujian kadar sisa klor dan *Escherichia coli* di jaringan distribusi *District Meter Area* (DMA) 2 zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air minum Kota Padang Panjang. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebaran sisa klor pada jaringan DMA 2 Bukit Surungan menggunakan *software Epanet 2.2*, membandingkan penyebaran sisa klor dan tekanan antara hasil pengukuran lapangan dan *software Epanet 2.2* dengan uji *Root Mean Square Error* (RMSE), dan menganalisis hubungan parameter suhu, pH, tekanan, jarak dan *Escherichia coli* terhadap sisa klor dengan analisis regresi dan korelasi.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Juni Tahun 2021 selama tujuh kali pengambilan sampel seperti terdapat pada **Tabel 3.1**. Lokasi penelitian dilakukan di reservoir dan jaringan distribusi *District Meter Area* (DMA) 2 zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Lokasi pengujian sampel untuk analisis *Escherichia coli* dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan Universitas Andalas Padang.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No.	Sampling Hari Ke-	Tanggal Sampling
1	I	Rabu/ 02 Juni 2021
2	II	Jum'at/ 04 Juni 2021
3	III	Senin/ 07 Juni 2021
4	IV	Kamis/ 10 Juni 2021
5	V	Selasa/15 Juni 2021
6	VI	Sabtu/ 19 Juni 2021
7	VII	Minggu/ 20 Juni 2021



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan tahapan studi literatur, tahapan selanjutnya yaitu studi pendahuluan, pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer yang meliputi, pengujian parameter tekanan, suhu, pH, sisa klor di lapangan serta kandungan *Escherichial coli* dengan analisis laboratorium. Kemudian akan dilakukan analisis data dan pembahasan. Diagram alir dari metodologi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur mencakup kegiatan pengumpulan sumber acuan sebagai bentuk dasar melakukan penelitian. Tahapan studi literatur dilakukan dengan pengumpulan dan pembahasan dari literatur yang berkaitan dengan kerangka permasalahan, tujuan penelitian, ruang lingkup dan metode penelitian. Penelitian terdahulu juga dijadikan sebagai referensi tambahan pada studi literatur.

3.3.2 Studi Pendahuluan

Studi Pendahuluan diperlukan untuk menentukan informasi sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian

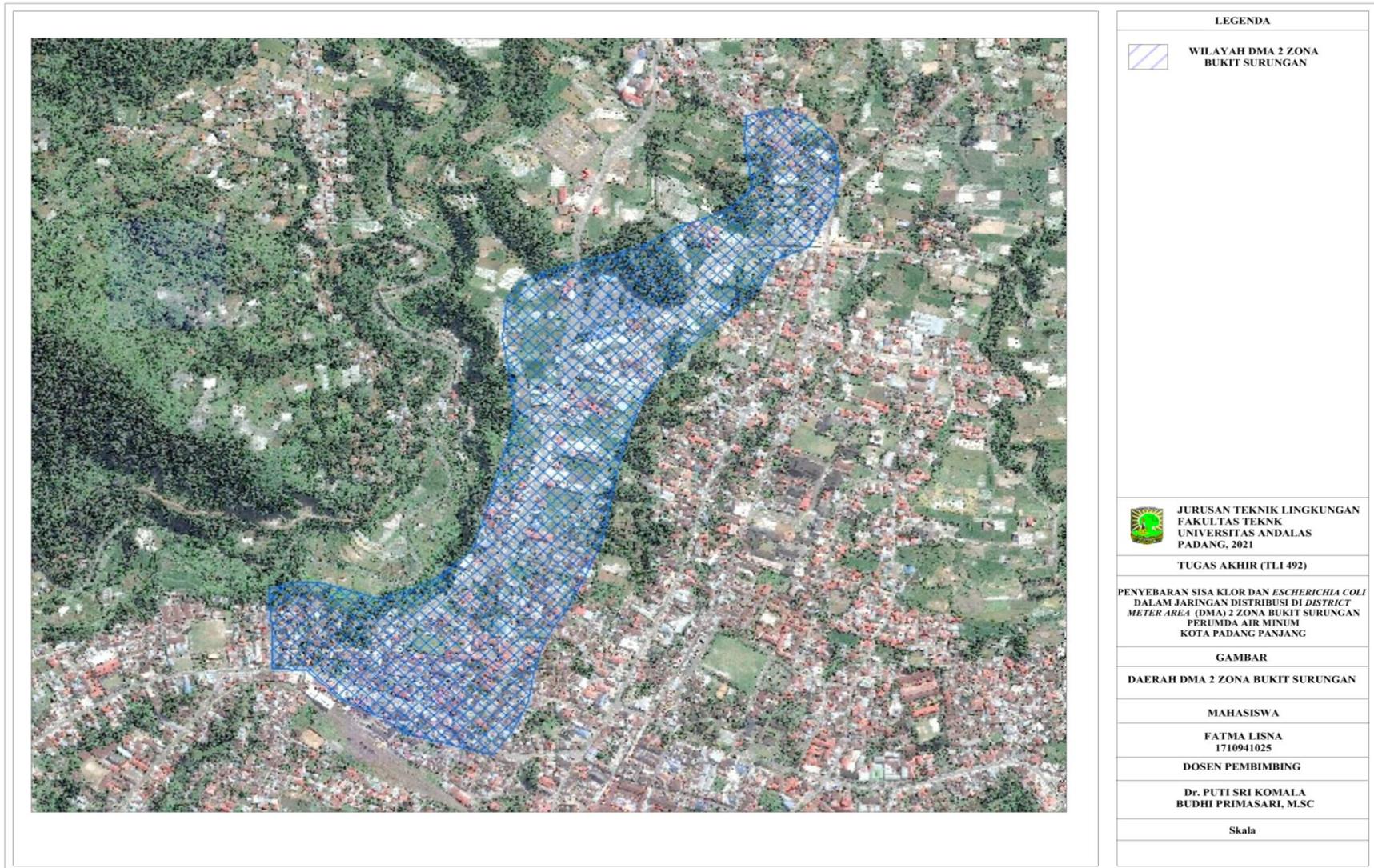
Lokasi penelitian berada pada wilayah DMA 2 Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang seperti terdapat pada **Gambar 3.2**

2. Lokasi *sampling*

Penentuan titik-titik *sampling* dilakukan untuk lokasi pengambilan sampel air serta pengukuran parameter berupa sisa klor, tekanan, suhu, dan pH pada jaringan distribusi Air Minum. Pengambilan sampel dilakukan pada keran pelanggan dengan titik terjauah yang mewakili jaringan distribusi utama. Lokasi *Sampling* dapat dilihat pada **Tabel 3.2** dan **Gambar 3.3**.

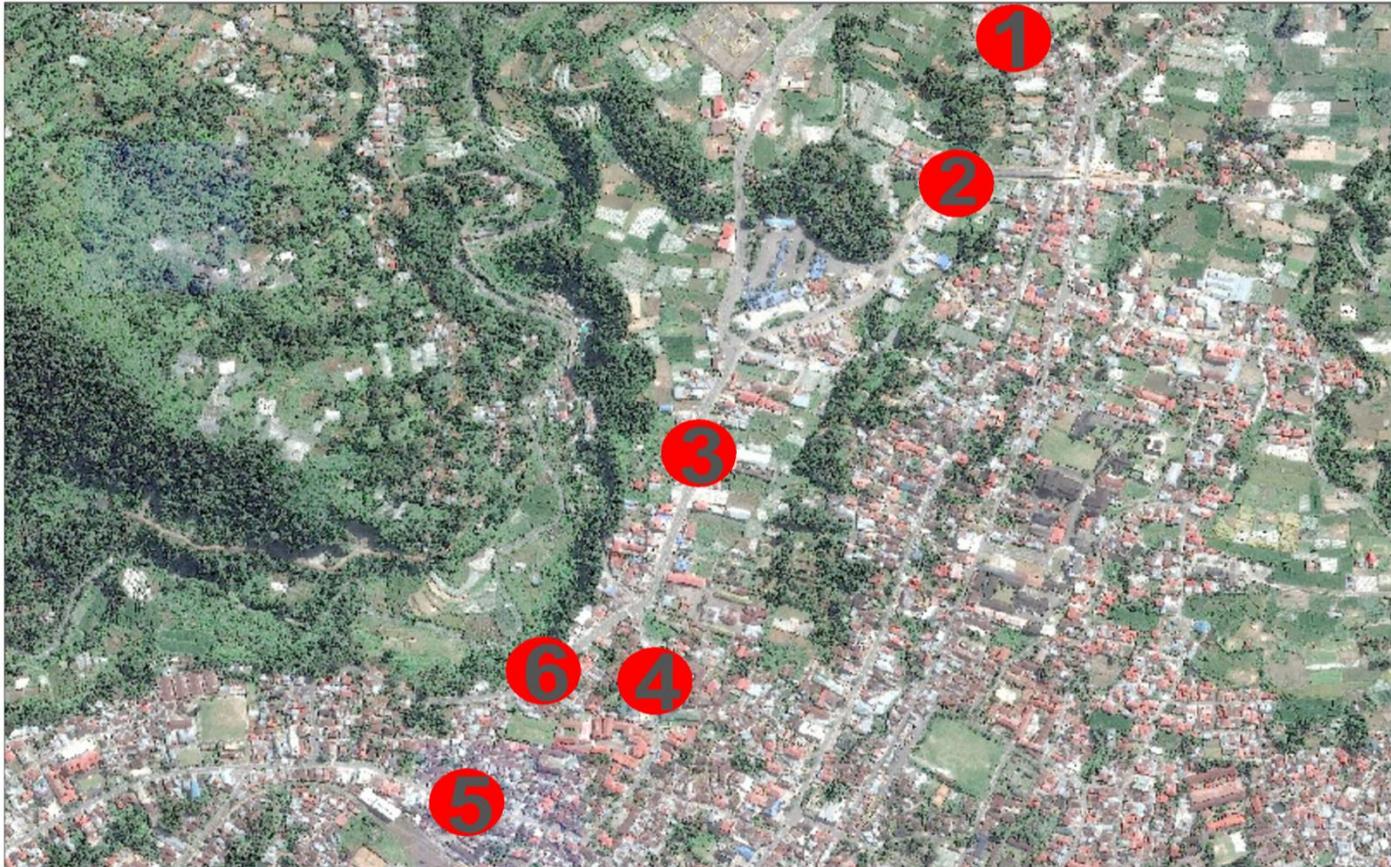
3. Penentuan waktu *sampling*

Waktu pengambilan sampel ditentukan berdasarkan survei terhadap data fluktuasi pemakaian dari PERUMDA pada beberapa hari sebelum pengambilan sampel. Waktu *sampling* pada jam puncak pemakaian air yaitu jam 07.00-08.00 WIB.



Gambar 3.2 Daerah Penelitian DMA 2 Zona Bukit Surungan

LEGENDA	
	TITIK PENGAMBILAN SAMPEL AIR
 JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS PADANG, 2021	
TUGAS AKHIR (TLI 492)	
PENYEBARAN SISA KLOR DAN <i>ESCHERICHIA COLI</i> DALAM JARINGAN DISTRIBUSI DI <i>DISTRICT METER AREA 4 (DMA) 2 ZONA BUKIT SURUNGAN</i> PERUMDA AIR MINUM KOTA PADANG PANJANG	
GAMBAR	
LOKASI SAMPLING PADA DMA 2 ZONA BUKIT SURUNGAN	
MAHASISWA	
FATMA LISNA 1710941025	
DOSEN PEMBIMBING	
Dr. PUTI SRI KOMALA BUDHI PRIMASARI, M.Sc	
Skala	



Gambar 3.3 Lokasi Sampling pada DMA 2 Zona Bukit Surungan

Tabel 3.2 Lokasi Sampling

No.	Lokasi	Jarak dari Reservoir (m)	Keterangan
1.	Reservoir Bukit Surungan	-	Lokasi awal pembubuhan
2.	Jl. Soekarno Hatta	1.418	Titik terdekat dari reservoir
3.	Jl. Prof Hamka	3.528	Mewakili jaringan utama
4.	Jl.Hamid Hakim	4.924	Mewakili jaringan utama
5.	Jl.Muhammad Yamin	5.423	Mewakili jaringan utama
6.	Jl Syech M Daud Rasidi	6.836	Titik terjauh dari reservoir

3.3.3 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang mendukung penelitian. Data sekunder yang dikumpulkan berasal dari PERUMDA air Minum Kota Padang Panjang. Data yang dikumpulkan adalah data kondisi jaringan distribusi, data fluktuasi pemakaian air reservoir, data pelanggan dan data kualitas air reservoir.

3.3.3.1 Data Jaringan Distribusi Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang

Data jaringan distribusi meliputi peta jaringan dan data pipa. Peta jaringan distribusi berguna untuk mengetahui jalur distribusi air dan menunjukkan posisi serta letak dari pipa pada jaringan distribusi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Data pipa yang dikumpulkan pada jaringan distribusi meliputi data panjang pipa, jenis pipa, elevasi pipa, diameter pipa dan umur pipa. Data ini dimanfaatkan untuk melakukan simulasi hidrolis perpipaan dan pengoperasian *Epanet* dalam menentukan sisa klor dan tekanan.

3.3.3.2 Data Fluktuasi Air pada Reservoir

Nilai fluktuasi air yang digunakan merupakan data fluktuasi selama 24 jam dalam waktu 7 kali pengambilan sampel pada bulan Juni 2021. Data fluktuasi didapatkan dari bagian produksi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang yang berguna dalam menentukan jam pemakaian maksimum dan minimum serta waktu pengambilan sampel air. Nilai fluktuasi juga berguna dalam penentuan pola waktu (*time pattern*) yang merupakan kumpulan pengali (*multiplier*) pada debit agar dapat bervariasi setiap waktu pada simulasi *Epanet*. Penentuan pola waktu

didapatkan dari perbandingan nilai fluktuasi debit per waktu (L/detik) dengan nilai rata rata debit fluktuasi harian (L/detik). Data fluktuasi didapatkan dari pengukuran menggunakan *flow meter* yang terletak pada reservoir. Pemantauan nilai fluktuasi dilakukan selama 24 jam dengan bantuan kamera monitor yang nilainya langsung tercatat dalam sistem pendataan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

3.3.3.3 Data Pemakaian Pelanggan

Data pelanggan merupakan informasi mengenai penggunaan air yang digunakan oleh pelanggan dalam jangka waktu tertentu. Perolehan data jumlah debit yang dikonsumsi ditentukan berdasarkan data jumlah pelanggan dan hasil pencatatan meteran pelanggan tiap bulan. Data pelanggan DMA 2 Bukit Surungan yang diambil adalah data pada bulan Juni. Penentuan pelanggan dilihat dari batasan cakupan pelayanan pada peta persebaran pelanggan yang didapatkan dari pihak PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

3.3.3.4 Data Kualitas Air Reservoir Bukit Surungan

Data kualitas air pada reservoir Zona Bukit Surungan didapatkan dari Bagian Produksi PERUMDA Air Minum Padang Panjang. Data kualitas air yang digunakan merupakan data hasil pemeriksaan pada bulan Juni Tahun 2021. Data ini digunakan sebagai data acuan melihat parameter Besi (Fe), mangan (Mn), dan sulfat untuk analisis kualitas air reservoir yang juga dapat memengaruhi kadar sisa klor.

3.3.4 Pengumpulan Data Primer

Data primer berasal dari pengumpulan data hasil pengukuran parameter pada jaringan distribusi dan analisis laboratorium. Pengukuran di jaringan distribusi berupa sisa klor, tekanan, suhu dan pH. Pengukuran sisa klor dilakukan dengan alat klorin meter, pengukuran tekanan, pH, suhu. Analisis parameter di laboratorium berupa uji *Escherichia coli* dengan metode MPN pada sampel air jaringan distribusi.

3.3.4.1 Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel air dilakukan pada keran pelanggan dengan titik terdekat dari jaringan utama distribusi. Proses *Sampling* dilakukan dengan pendekatan *cross-sectional* yaitu pengambilan sampel dilakukan pada titik yang sama dalam waktu tertentu. Pengambilan sampel dilakukan pada jam puncak pemakaian air yaitu pada jam 07.00-08.00 WIB. *Sampling* dilaksanakan selama tujuh kali dalam enam lokasi dengan satu sampel pada setiap tempat per harinya. Keran pelanggan terlebih dahulu dibersihkan, didisinfeksi dan dibilas. Keran harus dibiarkan mengalir dengan aliran konstan selama pengambilan sampel air (Badan Standarisasi Nasional, 2012). Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan botol sampel 100 ml seperti terlihat pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.4 Pengambilan Sampel Air Untuk Analisis *Escherichia coli*

3.3.4.2 Pengukuran Tekanan Pipa

Pengukuran tekanan pada pipa di jaringan distribusi dilakukan bersamaan dengan pengukuran sisa klor, suhu, pH di lapangan. Pengukuran tekanan pada pipa pelanggan keran pelanggan dengan titik terdekat dari jaringan utama distribusi menggunakan alat pengukur tekanan air yaitu manometer. Pengukuran di lapangan dilakukan dengan cara menghubungkan alat manometer pada pipa keran pelanggan. Pemasangan dilakukan dengan melepaskan keran pelanggan dan memasang manometer pada pipa dengan bantuan dari petugas PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Setelah dilakukan pemasangan selanjutnya panel jarum analog pada manometer akan menunjukkan nilai tekanan. Pemasangan alat manometer yang digunakan dan pengamatan manometer dapat dilihat pada **Gambar 3.5** dan **Gambar 3.6**



Gambar 3.5 Pemasangan Alat Manometer



Gambar 3.6 Pengukuran Tekanan dengan Manometer

3.3.4.3 Pengukuran Sisa Klor

Pengukuran nilai sisa klor dilakukan pada reservoir Bukit Surungan dan jaringan distribusi yang menjadi lokasi pengambilan sampel air. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *Chlorine Meter Lutron CL-2006* seperti **Gambar 3.8**. Sisa klor diukur dengan pengambilan sampel air dari keran pelanggan sebanyak 10 ml kedalam botol sampel, kemudian diisi dengan indikator *chlorine free DPD* dan dihomogenkan seperti **Gambar 3.7** yang telah homogen dimasukkan ke dalam alat tersebut. Kemudian, tekan tombol *test/call* dan tunggu hingga muncul nilai sisa klor kemudian catat angka yang muncul pada layar alat klorin meter.



Gambar 3.7 Pengisian Indikator *Chlorine Free DPD*



Gambar 3.8 Pengukuran Sisa Klor

3.3.4.4 Pengukuran pH

Pengukuran pH menggunakan alat *Portable Lutron PH-201*. Alat ini dilengkapi desain portabel yang memiliki mekanisme kompensasi suhu otomatis dengan kisaran 0 hingga 50 ° C. Alat pH meter Lutron PH-201 dilengkapi dengan *probe*

alat sampel dan sebuah layar LCD digital yang dapat menampilkan hasil pengoperasian. Penggunaannya dilakukan dengan mencelupkan *probe* alat ke dalam sampel. Kemudian alat ukur ini akan menampilkan nilai pH sampel yang diteliti seperti **Gambar 3.9**



Gambar 3.9 Pengukuran pH

3.3.4.5 Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer raksa *Lotus* dengan tingkat pengukuran 0°C - 100°C dan resolusi 1°C . Proses pengukuran suhu dilakukan dengan mencelupkan termometer ke dalam sampel air lalu alat akan menampilkan nilai suhu yang diteliti seperti terlihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Pengukuran Suhu

3.3.4.6 Pengukuran Sisa Klor untuk Koefisien *Bulk* dan Koefisien *Wall*

Pengamatan penurunan sisa klor terhadap waktu dilakukan untuk menghitung koefisien *bulk*. Pada penelitian ini sampel air diambil di *outlet* terdekat dari reservoir Bukit Surungan dengan pengamatan setiap 10 menit dalam satu jam yang dilakukan sebanyak enam kali pengukuran konsentrasi sisa klor. Koefisien *wall* didapatkan dari nilai koefisien *bulk* yang diinputkan pada *software Epanet*.

3.3.4.7 Analisis *Escherichia coli*

Analisis *Escherichia coli* menggunakan Metode *Most Probable Number* (MPN) yang mengacu pada “*BAM Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and Coliform Bacteria*” dan “*BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions*” oleh *Food and Drug Administration (FDA) United State of America Government*. Metode ini dilakukan menggunakan medium cair dengan pengenceran 3 seri tabung reaksi sehingga dihasilkan jumlah mikroorganisme dalam nilai MPN/Volume sampel. Metode MPN melalui tiga tahapan pemeriksaan yaitu uji pendugaan, uji kepastian/penegasan, dan uji lengkap yang dapat dilihat pada **Lampiran D3**.

3.3.5 Analisis Data dan Pembahasan Hasil

Analisis jaringan distribusi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang dilakukan dengan menggunakan *software Epanet 2.2* dan dilakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungan sisa klor terhadap *Escherichia coli* serta suhu, pH dan tekanan terhadap penyebaran sisa klor dan pada jaringan distribusi PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang.

3.3.5.1 Simulasi Hidrolis Jaringan Distribusi

Simulasi hidrolis pada jaringan distribusi dilakukan dengan bantuan *software Epanet 2.2*. Peta jaringan distribusi digambarkan ulang pada network map *software Epanet 2.2* dengan input yang sesuai dengan model eksisting dan data sekunder yang telah didapat. Digambarkan reservoir, pipa dan node (titik koneksi pipa) dengan input data meliputi koefisien kekasaran pipa, diameter pipa, panjang pipa, elevasi, debit pemakaian air dan pola pemakaian air pada setiap node. Data pemakaian air yang digunakan pada simulasi merupakan data debit puncak (Qp) pemakaian air oleh pelanggan per node. Data debit ini akan disajikan dalam pola waktu konsumsi (time pattern) sehingga terjadi variasi debit untuk setiap waktu. Langkah analisis penyebaran sisa klor secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran D1**.

3.3.5.2 Pola Pemakaian Air

Data pola pemakaian air DMA 2 Bukit Surungan diperoleh dari laporan pengukuran 24 jam pada reservoir. Dari data ini dapat diketahui pemakaian air

selama 24 jam baik saat jam puncak dan jam minimum. Faktor jam puncak merupakan perbandingan nilai debit puncak dengan nilai debit pemakaian rata-rata harian berdasarkan **persamaan 3.1**. Pola pemakaian air merupakan perbandingan nilai debit pemakaian perjam dengan nilai debit rata-rata harian berdasarkan **persamaan 3.2**. Perhitungan nilai pola pemakaian bertujuan untuk simulasi berdasarkan waktu (*extended period simulation*) yang akan diinputkan melalui *pattern editor* pada *software Epanet 2.2*.

$$F_p = Q_{\text{puncak}} / Q_{\text{rata-rata harian}} \dots\dots\dots (3.1).$$

$$\text{Pola Pemakaian} = Q / Q_{\text{rata-rata harian}} \dots\dots\dots (3.2).$$

3.3.5.3 Debit Pemakaian Air (*Base Demand*)

Penentuan debit pemakaian pada setiap node dihitung dari pemakaian pelanggan selama satu bulan yang telah didapatkan pada pengumpulan data sekunder. Debit pemakaian selama satu bulan yang didapatkan kemudian dihitung debit rata-rata (Q_r) untuk setiap node, selanjutnya setelah didapatkan debit rata-rata maka dihitung debit puncak (Q_p) yaitu hasil kali debit aliran air pemakaian rata-rata dengan perkalian faktor jam puncak seperti **Persamaan 3.3**. Data debit puncak kemudian diinputkan pada node pelanggan yang telah ditentukan dalam *software Epanet 2.2*.

$$Q_{\text{puncak}} = Q_{\text{rata-rata}} \times F_{\text{puncak}} \dots\dots\dots (3.3).$$

3.3.5.4 Perhitungan Koefisien Bulk

Perhitungan koefisien *bulk* dilakukan dengan melakukan pengamatan penurunan sisa klor terhadap waktu seperti **Gambar 3.11**. Nilai Koefisien *bulk* dihitung dengan **Persamaan 3.4**.

$$C = C_0 \exp (-K_b.t) \dots\dots\dots (3.4)$$

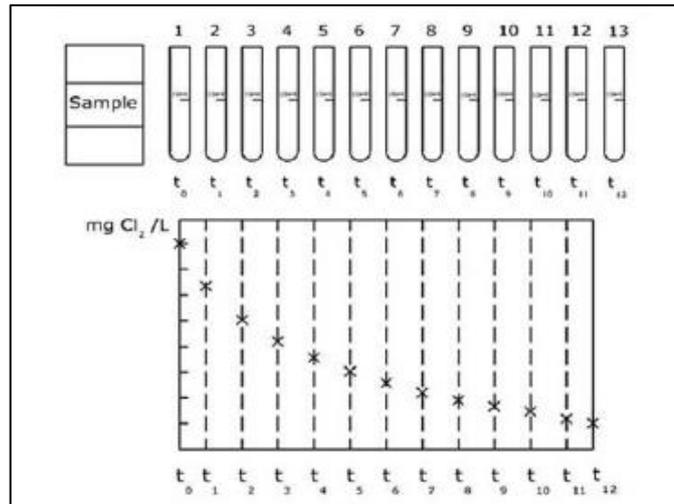
Keterangan :

C = Konsentrasi klor pada jarak tertentu (mg/L)

C_0 = Konsentrasi klor pada $t = 0$ (mg/L)

K_b = Konstanta penurunan

t = Waktu (jam)



Gambar 3.11 Diagram Penurunan Konsentrasi Klor

3.3.5.5 Perhitungan Koefisien Wall

Perhitungan nilai koefisien *wall* dilakukan dengan uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai koefisien *wall* diinputkan pada *software Epanet* dengan cara *trial and error* kemudian diambil nilai yang mendekati nol. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0) menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model perakiraan mendekati variasi nilai observasinya.

3.3.5.6 Perbandingan Terhadap Sisa Klor Dan Tekanan Hasil Simulasi *Software Epanet 2.2* Dengan Pengukuran di Lapangan

Analisis perbandingan dilakukan terhadap nilai sisa klor dan tekanan hasil pengukuran di lapangan dan *software Epanet*. Perbandingan dilakukan dengan uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai RMSE didapat dari nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan yang menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0) maka semakin akurat model tersebut.

3.3.5.7 Hubungan Jarak, suhu, pH, tekanan dan *Escherichia coli* terhadap Kadar Sisa Klor

Variabel penelitian terdiri dari variabel dependen atau terikat yang dipengaruhi, yaitu kadar sisa klor di masing-masing daerah penelitian, dan variabel independen atau variabel bebas atau yang mempengaruhi kadar sisa klor di jaringan distribusi. Normalitas data diuji dengan menggunakan program *Statistical Product and*

Service Solution (SPSS). Data yang terdistribusi normal adalah data yang memiliki nilai signifikansi besar dari 0,05. Pada penelitian ini metode uji normalitas data yang digunakan adalah *Shapiro-wilk* karena jumlah sampel kurang dari 50.

Analisis regresi dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh Jarak, suhu, pH tekanan dan *Escherichia coli* terhadap kadar sisa klor. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui tingkat hubungan/keeratan parameter. Analisis korelasi yang digunakan adalah korelasi *Pearson* untuk data yang terdistribusi normal dan korelasi *Rank Spearman* untuk data yang tidak terdistribusi normal. Koefisien korelasi memiliki suatu pelambangan yang menyatakan hubungan. Apabila korelasi sama dengan 0, antara kedua variabel tidak terdapat hubungan sama sekali. Notasi (+) atau (-) menunjukkan arah hubungan antara kedua variabel (Sujarweni, 2014). Nilai *r* yang diperoleh ini selanjutnya akan diinterpretasikan. Interpretasi nilai *r* dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.3 Interpretasi Nilai r

Besar nilai r	Interpretasi
Antara 0,800 sampai dengan 1,000	Sangat Kuat
Antara 0,600 sampai dengan 0,800	Kuat
Antara 0,400 sampai dengan 0,600	Lemah
Antara 0,200 sampai dengan 0,400	Sangat Lemah
Antara 0,000 sampai dengan 0,200	Tak Berkorelasi

BAB IV

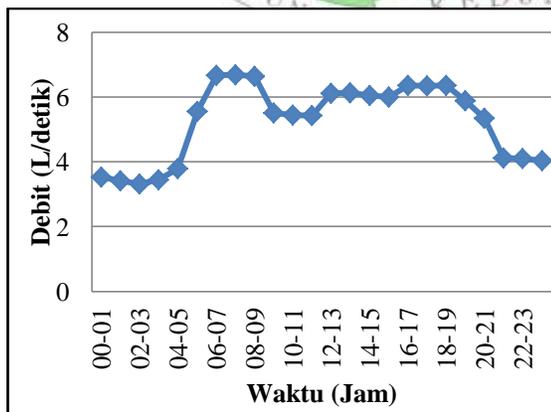
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

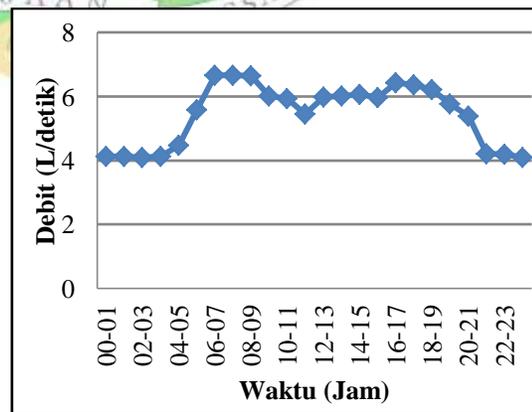
Bab ini menjelaskan data hasil dan pembahasan terhadap penelitian yang telah dilakukan. Pembahasan meliputi analisis gambaran penyebaran sisa klor pada jaringan distribusi, analisis kadar sisa klor dan tekanan antara pengukuran di lapangan yang dibandingkan dengan software *Epanet 2.2*, serta analisis pengaruh dan hubungan suhu, pH, tekanan, jarak dan *Escherichia coli* terhadap penyebaran sisa klor pada jaringan distribusi DMA 2 zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Kota Padang Panjang.

4.2 Fluktuasi dan Pola Pemakaian Air DMA 2 Bukit Surungan

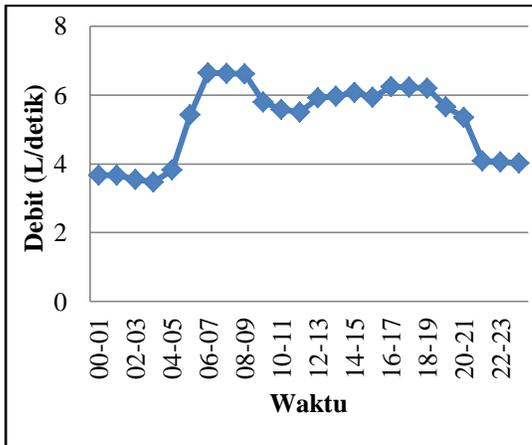
Fluktuasi pemakaian air disebabkan oleh adanya perbedaan pemakaian air pada setiap waktu. Fluktuasi pemakaian air tersebut akan menyebabkan terbentuknya jam puncak dan jam minimum pemakaian pada sistem distribusi air minum. Data fluktuasi pemakaian pada pelanggan yang digunakan dalam model epanet, merupakan data pengukuran debit pemakaian pada DMA 2 zona Bukit Surungan selama 24 jam yang didapat dari pihak PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Dalam penelitian ini fluktuasi yang digunakan adalah nilai debit selama 24 jam pengaliran pada kondisi harian rata-rata dalam tujuh kali sampling seperti terdapat pada **Gambar 4.1-**
Gambar 4.8.



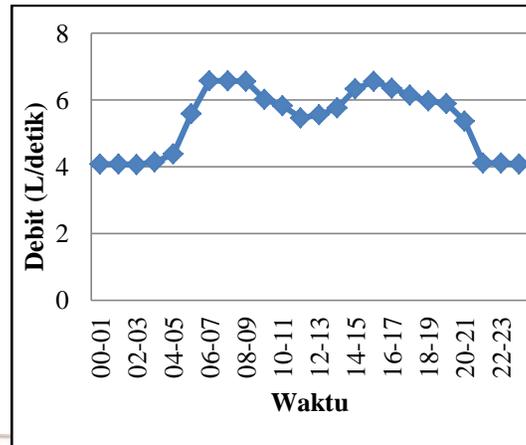
Gambar 4.1 Fluktuasi Sampling Ke-1



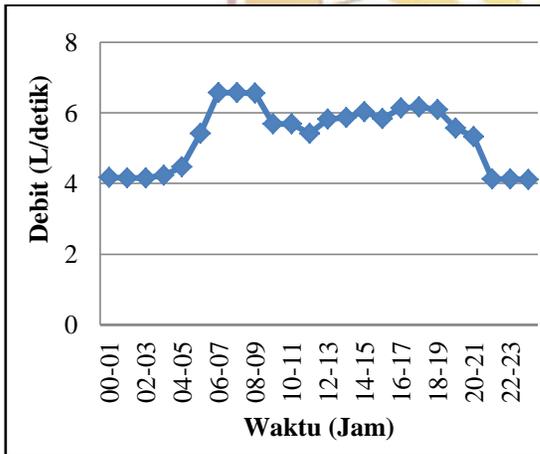
Gambar 4.2 Fluktuasi Sampling Ke-2



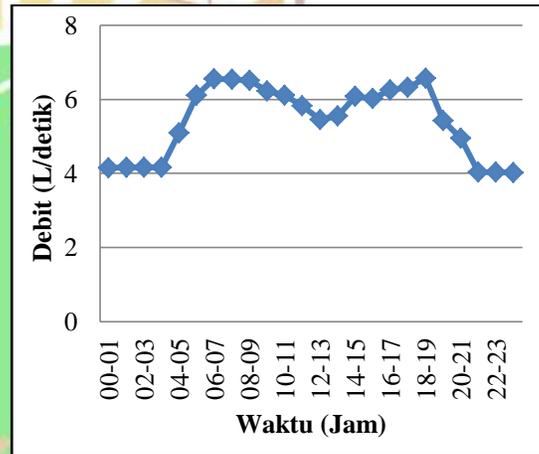
Gambar 4.3 Fluktuasi Sampling Ke-3



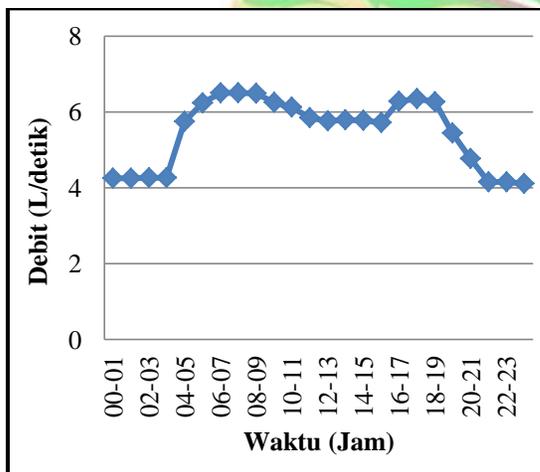
Gambar 4.4 Fluktuasi Sampling Ke-4



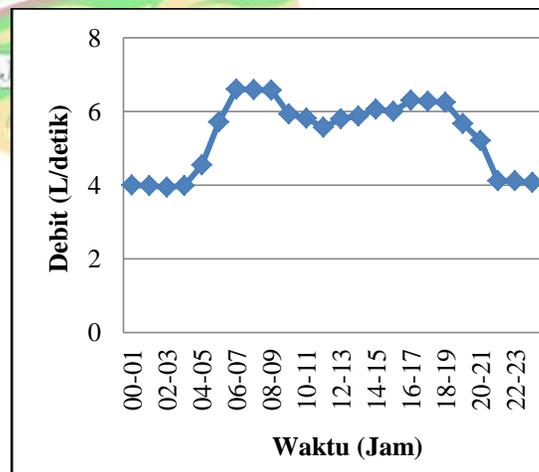
Gambar 4.5 Fluktuasi Sampling Ke-5



Gambar 4.6 Fluktuasi Sampling Ke-6



Gambar 4.7 Fluktuasi Sampling Ke-7



Gambar 4.8 Fluktuasi Rata-Rata

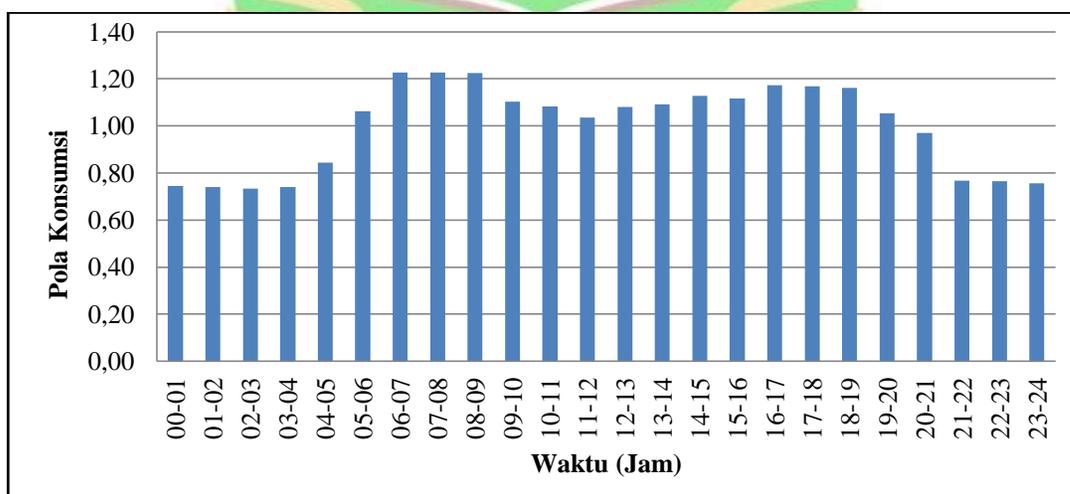
Fluktuasi digunakan sebagai data acuan dalam menentukan jam puncak dan jam minimum pemakaian air pada sistem distribusi. Pemakaian air pada jam puncak merupakan jumlah pemakaian air terbesar yang dimanfaatkan dalam satu hari. Persentase pemakaian air tergantung dari aktivitas penduduk, kebiasaan penduduk dan pola tata kota, sehingga kebutuhan air tiap waktu menjadi berubah. Berdasarkan **Gambar 4.8** fluktuasi pemakaian air rata-rata saat jam puncak terjadi pada pukul 06:00-07:00 dengan aliran 6,60 L/detik dan jam minimum pada jam 02.00-03.00 dengan aliran 3,94 L/detik. Sebagian besar penduduk Kota Padang Panjang bermata pencaharian pelayanan jasa dan pedagang. Besarnya pemakaian air pada jam 06.00-07.00 akibat adanya aktivitas penggunaan air seperti mandi dan mencuci, karena pada jam tersebut merupakan jam persiapan masyarakat untuk memulai aktivitas.

Tabel 4.1 Rata-Rata Fluktuasi Pemakaian Reservoir DMA 2 Bukit Surungan

Waktu	Debit (L/detik)	Pola Pemakaian
00.00 - 01.00	4,00	0,727
01.00 - 02.00	3,98	0,724
02.00 - 03.00	3,94	0,717
03.00 - 04.00	3,98	0,723
04.00 - 05.00	4,54	0,825
05.00 - 06.00	5,70	1,037
06.00 - 07.00	6,60	1,199
07.00 - 08.00	6,60	1,199
08.00 - 09.00	6,58	1,196
09.00 - 10.00	5,93	1,078
10.00 - 11.00	5,81	1,057
11.00 - 12.00	5,56	1,012
12.00 - 13.00	5,80	1,055
13.00 - 14.00	5,87	1,067
14.00 - 15.00	6,06	1,102
15.00 - 16.00	6,01	1,092
16.00 - 17.00	6,30	1,145
17.00 - 18.00	6,28	1,141
18.00 - 19.00	6,24	1,135
19.00 - 20.00	5,66	1,029
20.00 - 21.00	5,21	0,948

Waktu	Debit (L/detik)	Pola Pemakaian
21.00 - 22.00	4,12	0,749
22.00 - 23.00	4,11	0,748
23.00 - 00.00	4,07	0,739
Q Rata – Rata Harian (L/detik)	5,50	
Q Jam Puncak (L/detik)	6,60	
Faktor Jam Puncak	1,20	

Nilai debit pemakaian air rata-rata DMA 2 Bukit Surungan yaitu 5,50 L/detik dengan nilai debit puncak sebesar 6,60 L/detik. Faktor jam puncak sebesar 1,20 merupakan perbandingan nilai debit puncak harian dengan nilai debit pemakaian rata-rata perjam. **Tabel 4.1** juga menampilkan pola pemakaian air yang merupakan perbandingan nilai debit perjam dengan nilai debit rata-rata harian. Perhitungan nilai pola konsumsi bertujuan untuk simulasi berdasarkan waktu (*extended period simulation*) untuk melihat kandungan sisa klor dan kinerja hidrolis pada jaringan distribusi DMA 2 melalui *pattern editor* pada program *Epanet*. Pola konsumsi air pada DMA 2 Bukit Surungan dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. Terlihat dari aktivitas pemakaian air oleh pelanggan, pola pemakaian air pada DMA 2 Bukit Surungan pada pukul 21.00 WIB hingga pukul 04.00 WIB cenderung rendah hingga minimum dan pemakaian maksimum cenderung pada pagi hari pukul 06.00 WIB hingga pukul 08.00 WIB dan pada sore hari pada pukul 17.00 WIB hingga pukul 19.00 WIB.



Gambar 4.9 Pola Pemakaian Air Berdasarkan Pengukuran pada Outlet Reservoir Selama 24 Jam

4.3 Pelanggan dan Debit Konsumsi

Perolehan data jumlah debit konsumsi ditentukan berdasarkan data dari pencatatan meteran pelanggan per bulan yang di ambil berdasarkan kode pada keterangan pelanggan sistem baca meter (*meter reading*) PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Data yang didapat kemudian dihitung dengan akumulasi data air yang dipakai dalam sebulan yaitu bulan Juni 2021 (L/bulan) menjadi satuan liter/detik sesuai *node/junction* yang mewakili masing-masing pelanggan. Jumlah pelanggan DMA 2 Bukit surungan adalah 378 sambungan rumah (SR) dengan rata-rata suplai debit DMA 2 selama bulan juni adalah 5,26 L/detik dengan nilai faktor debit puncak (*q peak*) sebesar 1,2. Data suplai DMA diperoleh dari hasil pencatatan dan monitoring rutin petugas bagian distribusi PDAM Kota Padang Panjang dengan kode baca seperti terdapat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Pemakaian Air Oleh Pelanggan Per *Node/Junction*

<i>Node/Junction</i>	Qr	Fp	Qp
junction 2	0,129	1,2	0,155
junction 3	0,095	1,2	0,114
junction 4	0,075	1,2	0,091
junction 5	0,174	1,2	0,209
junction 6	0,316	1,2	0,379
junction 7	0,251	1,2	0,302
junction 8	0,092	1,2	0,110
junction 9	0,248	1,2	0,298
junction 10	0,129	1,2	0,155
junction 11	0,773	1,2	0,928
junction 12	0,461	1,2	0,553
junction 13	0,242	1,2	0,290
junction 14	0,145	1,2	0,174
junction 15	0,233	1,2	0,280
junction 16	0,038	1,2	0,046
junction 17	0,018	1,2	0,021
junction 18	0,062	1,2	0,075
junction 19	0,128	1,2	0,154
junction 20	0,053	1,2	0,063
junction 21	0,050	1,2	0,060
junction 22	0,038	1,2	0,046
junction 23	0,008	1,2	0,009
junction 24	0,017	1,2	0,021
junction 25	0,034	1,2	0,041
junction 26	0,210	1,2	0,251
junction 27	0,186	1,2	0,223

4.4 Simulasi Hidrolis Jaringan Distribusi

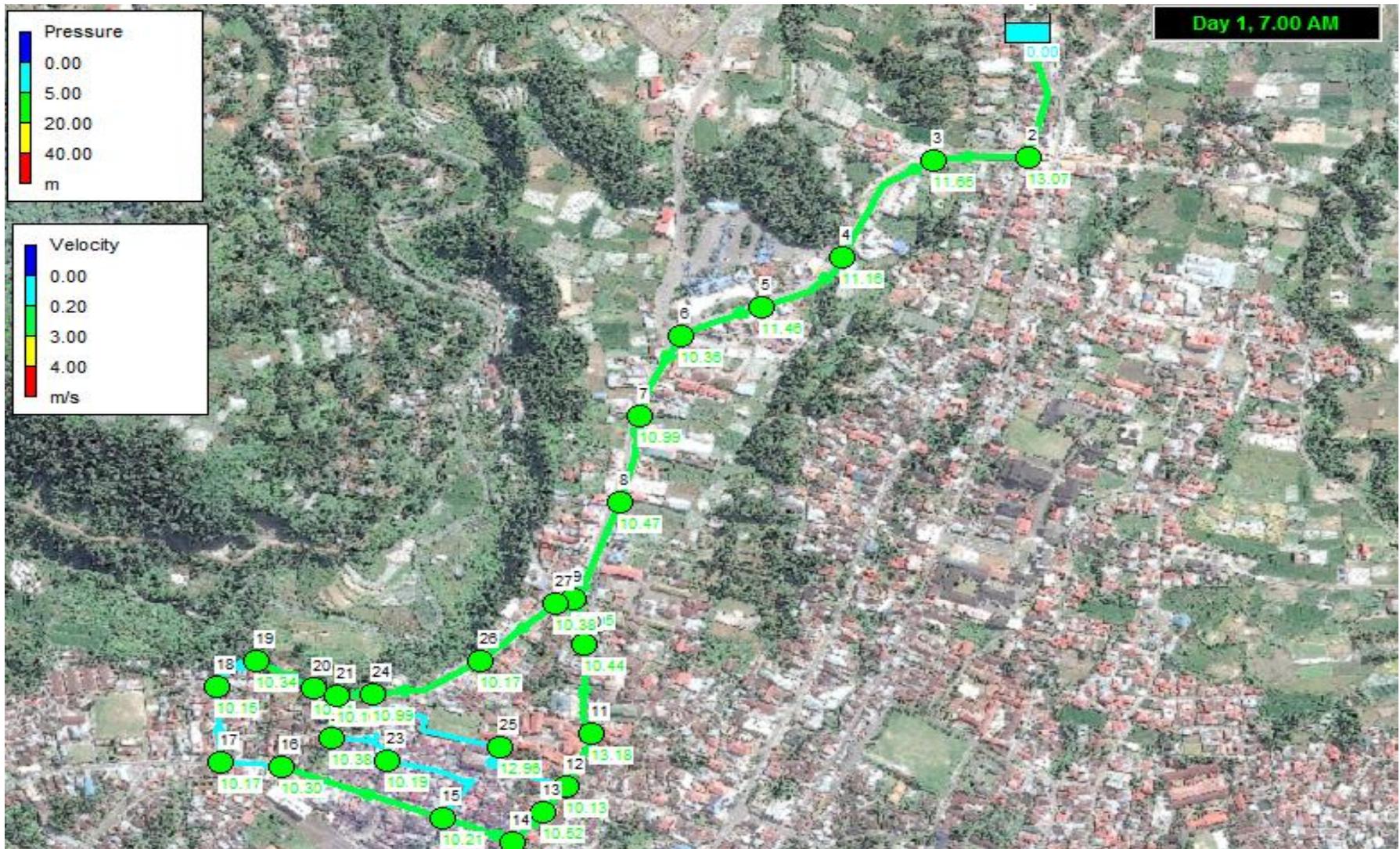
Simulasi hidrolis dilakukan untuk menguji kinerja pipa jaringan distribusi dengan indikator yang menjadi evaluasi adalah tekanan dan kecepatan pada jam puncak pemakaian air. Data-data yang diinput pada *software Epanet* merupakan data yang mewakili kondisi eksisting DMA 2 Bukit Surungan seperti peta jaringan, elevasi, jenis pipa, diameter pipa, koefisien pipa, debit dan pola pemakaian air tiap node.

4.4.1 Tekanan (P)

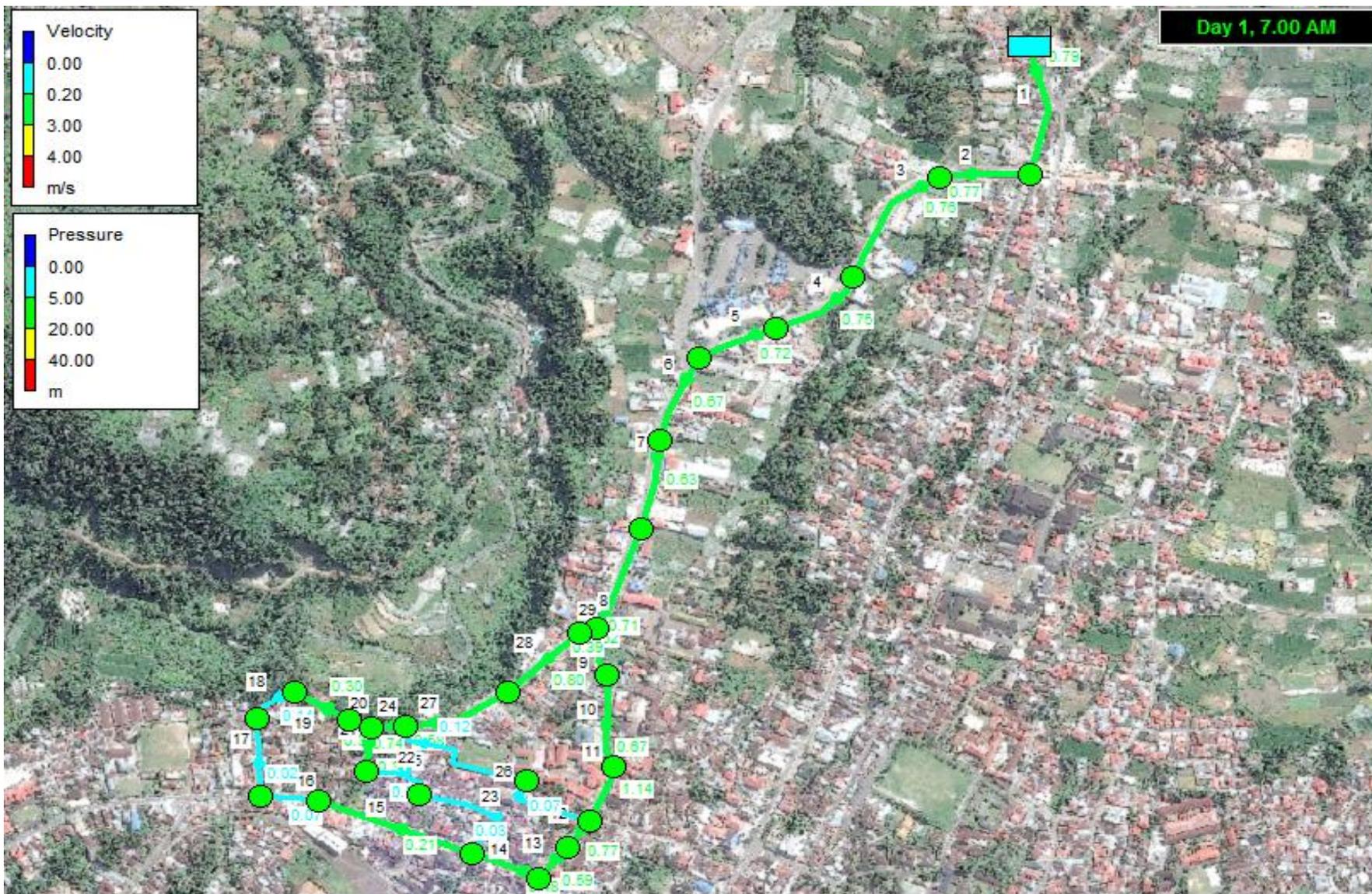
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum, nilai tekanan minimal 5 meter (0,5 bar) pada pipa pelayanan pelanggan. Hasil simulasi *software Epanet* pada jaringan distribusi DMA 2 menunjukkan nilai tekanan berkisar antara 0,94 bar - 1,13 bar yang telah sesuai standar kriteria dan secara keseluruhan telah memenuhi nilai tekanan minimal seperti terlihat **Gambar 4.10**.

4.4.2 Kecepatan

Persyaratan kecepatan jalur pipa distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum adalah 0,3 m/detik – 6 m/detik. Berdasarkan hasil *software Epanet* pipa kawasan Jalan Rasidi masih memiliki kecepatan aliran (*velocity*) di bawah 0,3 m/detik. Kecepatan di bawah standar kriteria 0,3 m/detik terlihat pada Pipa 16 (0,07 m/detik), Pipa 17 (0,02 m/detik), Pipa 18 (0,14 m/s), Pipa 22 (0,08 m/detik), Pipa 23 (0,03 m/detik), pipa 25 (0,12 m/detik) dan pipa 26 (0,07 m/detik). Kecepatan aliran air yang rendah pada terjadi akibat kemiringan pipa (*slope*) yang cenderung landai pada jaringan DMA 2 seperti **Gambar 4.11**. Rendahnya kecepatan aliran pada pipa juga disebabkan oleh diameter pipa yang ukurannya terlalu besar dibandingkan dengan debit aliran di dalam pipa. Kecepatan aliran yang rendah menyebabkan waktu tinggal/umur air menjadi sangat lama sehingga dapat menurunkan konsentrasi klorin pada jaringan.



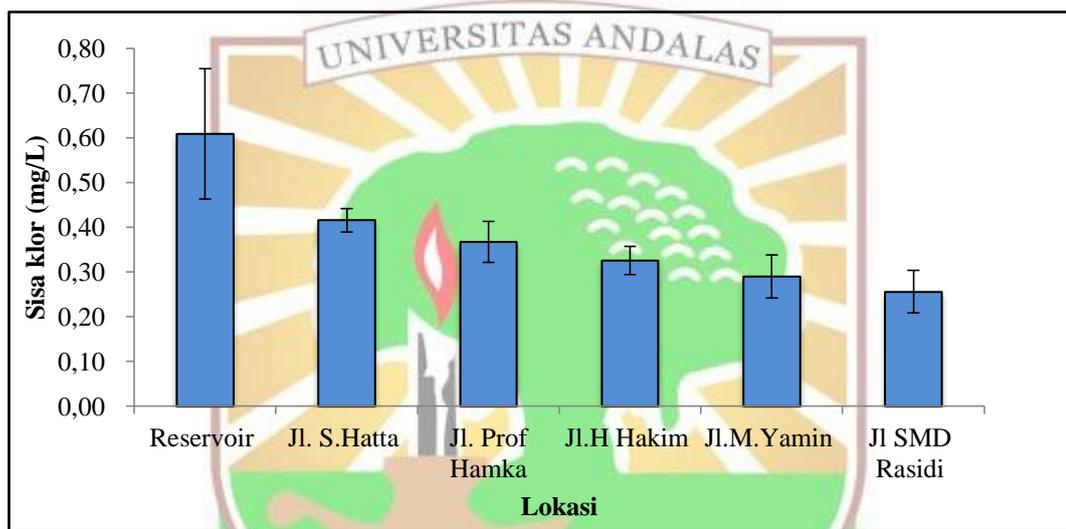
Gambar 4.10 Nilai Tekanan Simulasi *Software Epanet*



Gambar 4.11 Nilai Kecepatan Simulasi *Software Epanet*

4.5 Penyebaran Sisa Klor di Jaringan Distribusi

Penyebaran sisa klor di jaringan distribusi DMA 2 Zona Bukit Surungan pada penelitian ini digambarkan melalui *software Epanet 2.2*. Simulasi dengan *software Epanet* terhadap sisa klor menerangkan laju penurunan sisa klor. Simulasi ini digunakan untuk melihat kadar sisa klor pada rentang minimal 0,2 mg/L dan maksimal 1 mg/L pada jaringan distribusi DMA 2 Bukit Surungan. Data yang digunakan adalah hasil sampling kadar sisa klor selama tujuh kali pengambilan sampel. Nilai sisa klor rata-rata pada setiap lokasi sampling pada DMA 2 Zona Bukit Surungan seperti terdapat pada **Gambar 4.12**



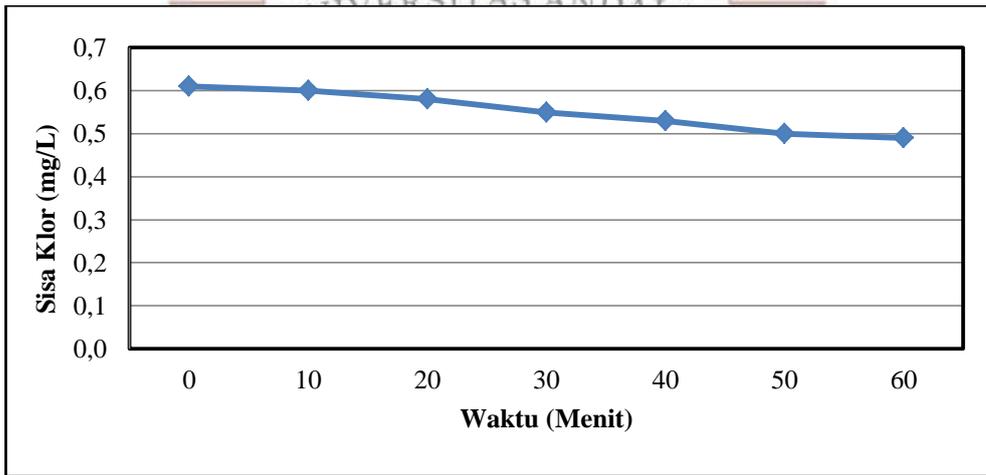
Gambar 4.12 Kadar Sisa Klor Hasil Pengukuran di Jaringan Distribusi

Hasil pengukuran sisa klor memberikan informasi bahwa adanya penurunan kadar sisa klor pada setiap titik pengambilan sampling. Sisa klor pada lokasi sampling berdasarkan pengukuran di lapangan pada umumnya sudah memenuhi standar kriteria yaitu 0,2 mg/L - 1 mg/L. Kadar sisa klor rata rata minimum yaitu 0,24 mg/L dan maksimum 0,36 mg/L pada jaringan distribusi. Sisa klor yang masuk ke dalam jaringan distribusi merupakan klor aktif yang telah melampaui BPC (*breakpoint chlorination*). BPC merupakan konsentrasi klor aktif yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik, anorganik, dan bahan lain yang dapat dioksidasi serta membunuh mikroorganisme (Ali, 2010). Ketika aliran air memasuki jaringan distribusi, desinfektan akan mengoksidasi komponen pencemar yang berada di air maupun yang berada di dinding pipa. Sisa klor yang telah bereaksi dengan bahan pencemar tidak lagi berguna sebagai desinfektan,

hal tersebut yang menyebabkan terjadinya penurunan sisa klor pada air.

4.5.1 Koefisien Reaksi *Bulk*

Penentuan koefisien klor dilakukan dengan menghitung nilai koefisien reaksi *bulk* dan nilai koefisien reaksi *wall*. Koefisien reaksi *bulk* merupakan koefisien konsentrasi sisa klor akibat reaksi dengan komponen organik dan mikroorganisme yang ada dalam pipa. Koefisien reaksi *bulk* didapat dari pengamatan sisa klor terhadap waktu pada *outlet* terdekat dari reservoir. Pengamatan dilakukan dengan waktu pengambilan sampel dan pengukuran sisa klor per 10 menit dalam waktu satu jam seperti terdapat pada **Gambar 4.13**



Gambar 4.13 Penurunan Sisa Klor Terhadap Waktu

Kadar sisa klor cenderung mengalami penurunan seiring pertambahan waktu. Nilai penurunan sisa klor tersebut digunakan dalam penentuan koefisien *bulk* dimana nilai konsentrasi klor pada waktu awal (0) sebagai C_0 dan konsentrasi pada selang waktu berikutnya sebagai C_e . Nilai koefisien didapat dengan menggunakan **Persamaan 2.22** seperti terdapat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Data Perhitungan Koefisien *Bulk* pada Pipa

C_e	C_0	$\ln C_0/C_e$	t (jam)	K
0,600	0,610	-0,016	0,166	-0,099
0,580	0,610	-0,050	0,333	-0,151
0,550	0,610	-0,103	0,500	-0,207
0,530	0,610	-0,140	0,666	-0,210
0,500	0,610	-0,199	0,834	-0,238
0,490	0,610	-0,219	1,000	-0,219
Koefisien Bulk				-0,160

Nilai koefisien *bulk* pada DMA 2 zona Bukit Surungan sebesar -0,160, sehingga diketahui faktor penurunan klor yang disebabkan oleh mikroorganisme yang tersuspensi dalam air. Nilai koefisien *bulk* yang didapatkan mendekati penelitian Hallam dkk, 2002 yaitu -0,140. Nilai koefisien tersebut diperlukan sebagai input dalam *software Epanet* untuk melihat penyebaran konsentrasi klor pada jaringan distribusi. Penurunan kadar sisa klor pada jaringan distribusi DMA 2 zona Bukit Surungan juga diakibatkan karena sisa klor yang bereaksi dengan komponen organik atau mikroorganisme dalam perpipaan distribusi selama perjalanan air sampai konsumen. Berdasarkan data hasil pemeriksaan parameter kimia terhadap kualitas air reservoir Bukit Surungan diketahui bahwa terdapat kandungan logam seperti besi (Fe^{2+}) sebanyak 0,02 mg/L dan mangan (Mn^{2+}) sebanyak 0,01 mg/L. Hal tersebut menyebabkan terjadinya reaksi klor reaksi sepanjang saluran distribusi air untuk mengalami reaksi reduksi dan mengoksidasi logam-logam yang sehingga kadar klor juga akan cenderung semakin kecil.

4.5.2 Koefisien Reaksi Wall

Koefisien penurunan *wall* merupakan koefisien penurunan konsentrasi klor yang diakibatkan oleh mikroorganisme yang terbentuk pada dinding pipa (*biofilm*). Nilai koefisien *wall* didapatkan menggunakan uji *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengamatan terhadap nilai sebenarnya. Perhitungan dilakukan dengan *software Epanet 2.2* sehingga menghasilkan nilai RMSE seperti terdapat pada **Tabel 4.4** berikut.

Tabel 4.4 Data Perhitungan Koefisien Wall pada Pipa

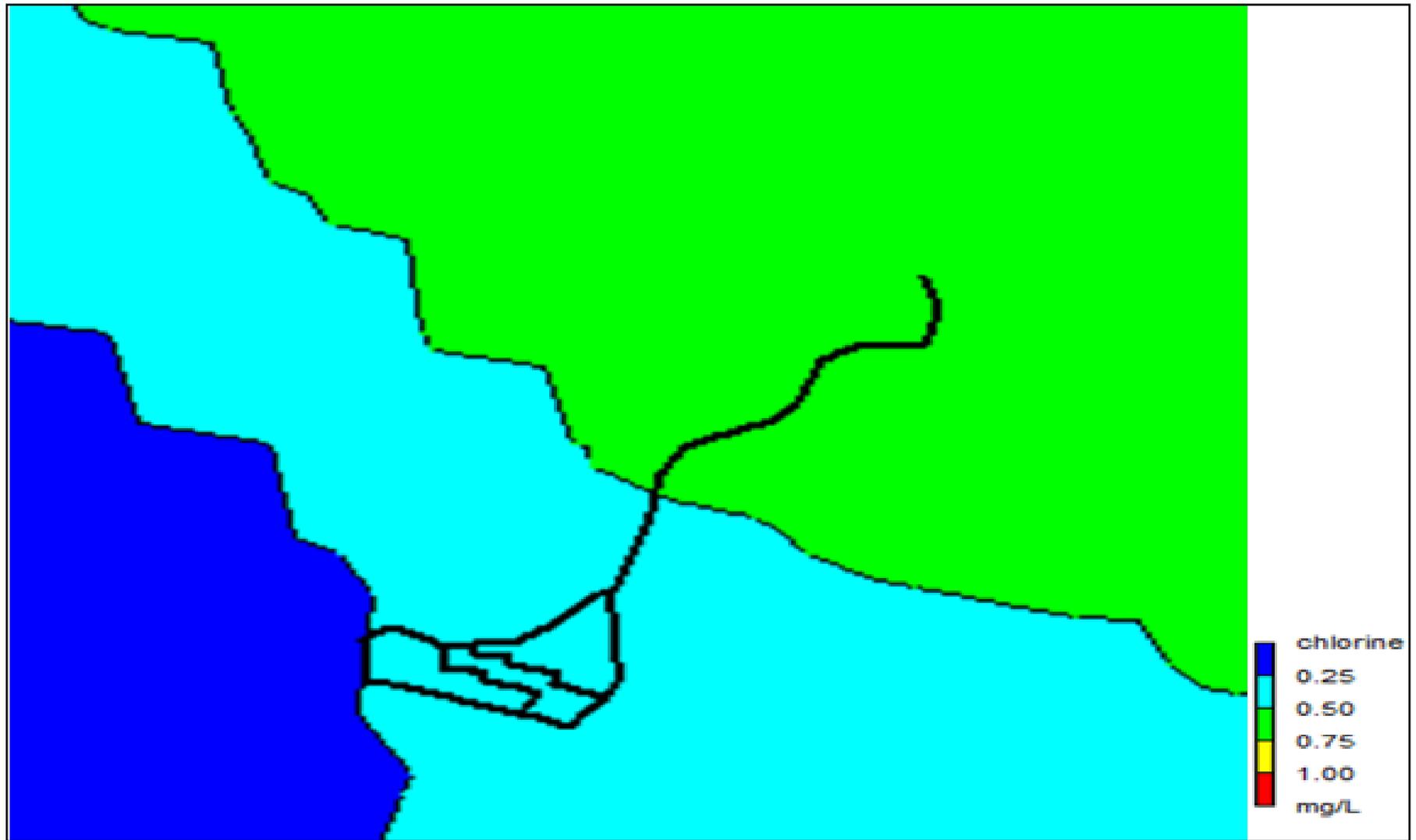
No	Nilai Koefisien <i>Global Wall</i>	Nilai <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)
1	-0,08	0,192
2	-0,09	0,182
3	-0,1	0,061
4	-0,2	0,074
5	-0,3	0,105
6	-0,4	0,122
7	-0,5	0,131
8	-0,6	0,152
9	-0,7	0,169
10	-0,8	0,182
11	-0,9	0,192
12	-1,0	0,203

Berdasarkan perhitungan nilai RMSE dengan *software Epanet 2.2* didapatkan nilai koefisien *wall* adalah -0,1. Nilai koefisien *wall* -0,1 memiliki nilai RMSE yang rendah (mendekati 0). Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model mendekati variasi nilai observasinya. Semakin kecil nilai RMSE yang dihasilkan maka semakin akurat suatu model. Penyebaran sisa klor di jaringan DMA 2 Bukit Surungan dapat dilihat pada **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15**.

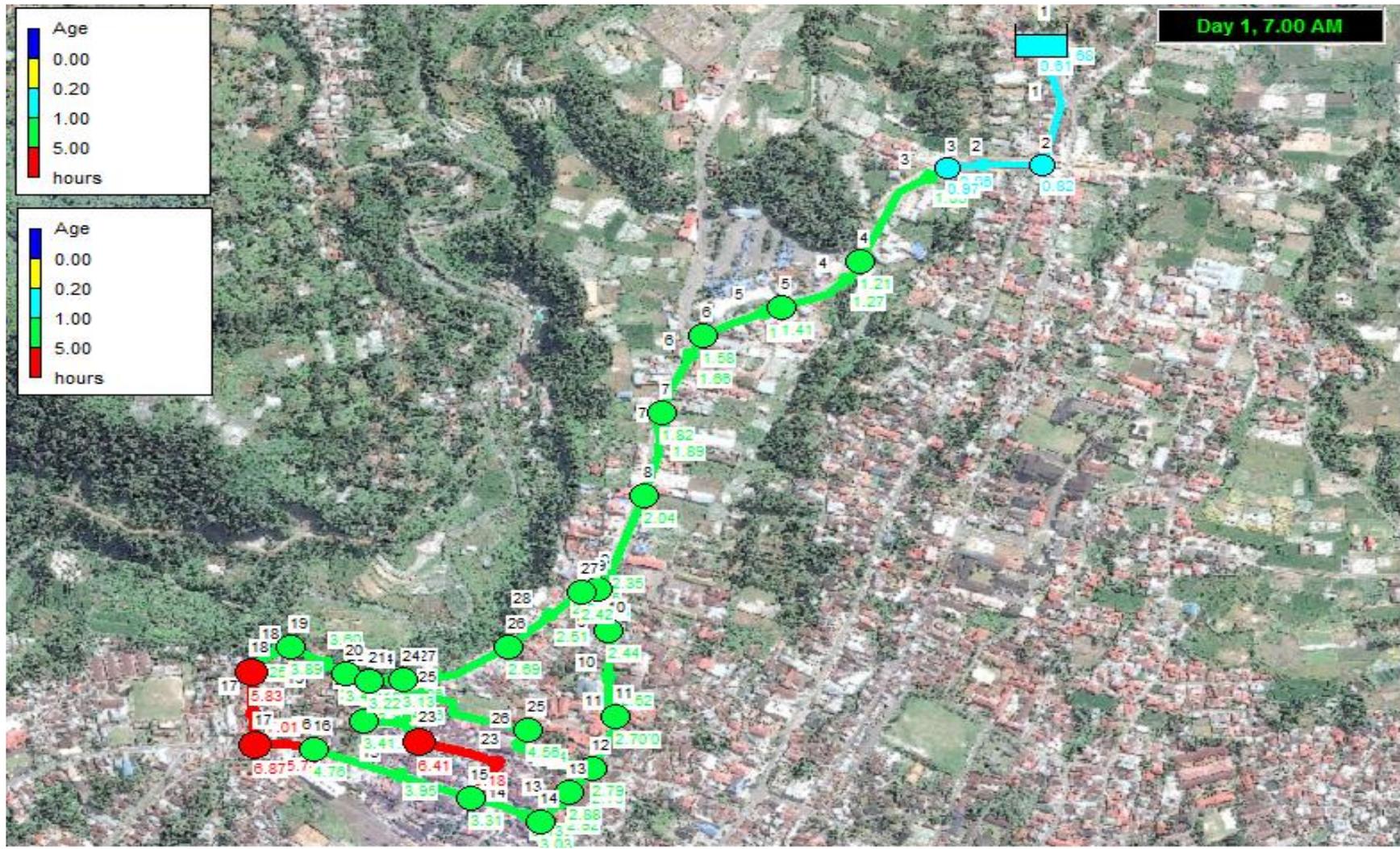
Penyebaran sisa klor pada DMA 2 Bukit Surungan secara umum tersebar menyeluruh di jaringan distribusi. Hasil simulasi diketahui bahwa sisa klor di jaringan distribusi DMA 2 zona Bukit Surungan secara umum telah memenuhi kriteria persyaratan pada Peraturan Menteri Kesehatan No.736 Tahun 2010 yaitu kadar sisa klor minimal adalah 0,2 mg/L pada titik terjauh jaringan distribusi. Berdasarkan hasil simulasi konsentrasi klor pada jaringan distribusi berada pada rentang 0,10 mg/L - 0,61 mg/L. Konsentrasi sisa klor tertinggi sebesar 0,61 mg/L yaitu pada reservoir. Konsentrasi terendah dan belum memenuhi persyaratan terdapat pada 2 lokasi yaitu pada *node* 17 dengan nilai sisa klor 0,16 mg/L dan *node* 18 dengan nilai sisa klor 0,10 mg/L. Kadar yang rendah diakibatkan lokasi tersebut merupakan lokasi dengan jarak terjauh yaitu pada jarak 7,45 km dari reservoir. Sisa klor cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak. Hal tersebut seiring dengan penelitian penelitian Finansita (2012), bahwa kadar sisa klor di PDAM Nganjuk habis pada jarak 8 km dan penelitian Syahputra (2012) bahwa kecendrungan semakin jauh jarak reservoir dengan konsumen maka semakin kecil sisa klor. Penurunan kadar sisa klor juga disebabkan oleh interaksi antar dinding pipa serta reaksi air dalam pipa. Semakin lama air berada dalam jaringan (usia air) maka semakin banyak reaksi yang terjadi. Berdasarkan **Gambar 4.16** dan **Tabel 4.5** usia air Bukit Surungan paling rendah yaitu 0,61 jam dan paling tinggi adalah 6,87 jam yang berada pada lokasi dengan kadar klor terendah, kecepatan aliran rendah dan lokasi terjauh dari reservoir. Semakin lambat kecepatan aliran maka waktu tinggal akan semakin lama sehingga semakin hilang pula sisa klor.



Gambar 4.14 Nilai Sisa Klor Simulasi *Software Epanet*



Gambar 4.15 *Countur Plot* Penyebaran Sisa Klor pada DMA 2 Bukit Surungan.



Gambar 4.16 Simulasi Water Age dengan Epanet pada DMA 2 Bukit Surungan

Tabel 4.5 Hasil Simulasi *Software Epanet*

Node ID	Elevation M	Base Demand LPS	Pressure M	Sisa klor mg/L	Age Hours
Junc 2	830	0,155	13,07	0,59	0,82
Junc 3	825	0,114	11,65	0,56	0,97
Junc 4	822	0,091	11,16	0,55	1,21
Junc 5	817	0,209	11,46	0,53	1,41
Junc 6	815	0,379	10,36	0,51	1,58
Junc 7	811	0,302	10,99	0,50	1,82
Junc 8	809	0,110	10,47	0,48	2,04
Junc 9	808	0,298	10,05	0,46	2,33
Junc 10	803	0,155	10,44	0,45	2,44
Junc 11	795	0,928	13,18	0,43	2,70
Junc 12	786	0,554	10,13	0,41	2,79
Junc 13	784	0,291	10,52	0,41	2,88
Junc 14	780	0,174	10,19	0,39	3,03
Junc 15	775	0,391	10,21	0,35	3,31
Junc 16	774	0,215	10,30	0,23	4,76
Junc 17	773	0,088	10,17	0,13	6,87
Junc 18	774	0,084	10,15	0,10	5,83
Junc 19	776	0,064	10,34	0,29	3,89
Junc 20	777	0,013	10,61	0,31	3,43
Junc 21	780	0,029	10,16	0,35	3,22
Junc 22	776	0,104	10,38	0,31	3,41
Junc 23	774	0,085	10,19	0,11	6,41
Junc 24	787	0,58	10,99	0,38	3,13
Junc 25	782	0,079	12,96	0,23	4,56
Junc 26	795	0,352	10,17	0,42	2,69
Junc 27	807	0,312	10,38	0,45	2,42
Reservoar 1	848	#N/A	0,00	0,61	0,61

4.6 Analisis Kadar Sisa Klor dan Tekanan Hasil Perbandingan *Software Epanet 2.2* dengan Pengukuran di Lapangan

Software Epanet dapat menganalisis perbandingan hasil simulasi dan hasil data terukur di lapangan. Analisis perbandingan dilakukan terhadap nilai sisa klor dan tekanan. **Tabel 4.6** memperlihatkan perbandingan hasil data tekanan dan sisa klor antara pengukuran lapangan dengan simulasi *software Epanet*.

Tabel 4.6 Perbandingan Sisa Klor dan Tekanan

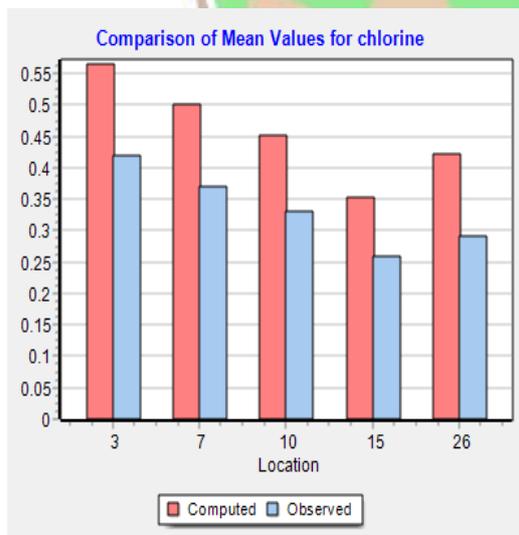
Lokasi	Tekanan		Sisa Klor	
	Data Observasi	Data Simulasi	Data Observasi	Data Simulasi
Node 3	11,30 m	11,65 m	0,42 m	0,56 m
Node 7	10,70 m	10,99 m	0,37 m	0,50 m
Node 10	10,30 m	10,44 m	0,33 m	0,45 m
Node 15	9,40 m	10,21 m	0,26 m	0,35 m
Node 26	9,70 m	10,17 m	0,29 m	0,42 m

Metode perbandingan yang digunakan dalam penelitian yaitu uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Metode uji ini mensyaratkan nilai uji RMSE mendekati nol (0) untuk menunjukkan bahwa simulasi mendekati nilai sebenarnya. Hasil statistik RMSE perbandingan terhadap nilai sisa klor dan tekanan hasil simulasi dan lapangan dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

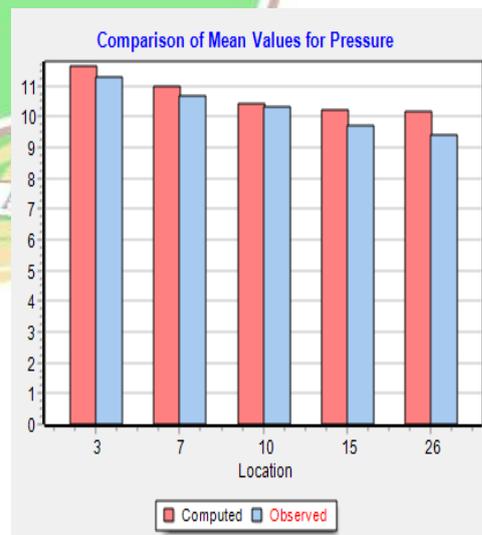
Tabel 4.7 Nilai RMSE Sisa Klor dan Tekanan

Lokasi	Tekanan		Sisa Klor		Mean Error	Tekanan	Mean Error	Sisa klor
	Lapangan	<i>Epanet</i>	Lapangan	<i>Epanet</i>				
Node 3	11,30 m	11,65 m	0,42 m	0,56 m	0,35	0,12	0,14	0,02
Node 7	10,70m	10,99 m	0,37 m	0,50 m	0,29	0,08	0,13	0,02
Node 10	10,30 m	10,44 m	0,33 m	0,45 m	0,14	0,02	0,12	0,01
Node 15	9,40 m	10,21 m	0,26 m	0,35 m	0,81	0,66	0,09	0,01
Node 26	9,70 m	10,17 m	0,29 m	0,42 m	0,47	0,22	0,13	0,02
Total						1,10		0,08
RMSE						0,47		0,12

Nilai sisa klor hasil simulasi pada umumnya lebih besar dengan pengukuran lapangan. Nilai RMSE sisa klor sebesar 0,12. Nilai RMSE yang dihasilkan mendekati 0 dan perbedaan nilai hasil lapangan dengan hasil simulasi tidak jauh berbeda seperti terdapat pada Gambar **Gambar 4.17**. Hasil statistik diagram perbandingan terhadap nilai tekanan hasil simulasi dan lapangan dapat dilihat pada **Gambar 4.18**. Berdasarkan uji perbandingan dengan *software Epanet* menunjukkan bahwa nilai RMSE tekanan sebesar 0,47. Nilai tekanan hasil simulasi lebih besar terhadap tekanan pengukuran lapangan. Tekanan yang lebih tinggi saat simulasi dibandingkan dengan pengukuran lapangan dapat diakibatkan faktor kebocoran yang tidak diperhitungkan pada *Epanet*. Perbedaan nilai hasil observasi sisa klor dengan hasil simulasi tidak jauh berbeda dari *node* satu ke *node* berikutnya menunjukkan pola penambahan yang hampir mendekati sehingga memiliki tingkat keakuratan yang cukup tinggi. Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan nilai sisa klor dan tekanan pengukuran di lapangan dan hasil simulasi yaitu posisi dan bukaan *gate valve* pengatur distribusi kemungkinan masih ada yang belum terukur, adanya interkoneksi aliran ke kawasan lain yang menyebabkan ketidakvalidan data serta koefisien kekasaran pipa yang belum sesuai dengan keadaan di lapangan.



Gambar 4.17 Diagram Sisa Klor Simulasi dan Observasi



Gambar 4.18 Diagram Tekanan Simulasi dan Observasi.

4.7 Analisis Pengaruh dan Hubungan suhu, pH, Tekanan, Jarak dan *Escherichia coli* Terhadap Sisa Klor

Pemantauan dan pengukuran di lapangan dilakukan pada enam titik lokasi yang telah ditetapkan. Pengukuran dilakukan selama 7 hari yang dilaksanakan pada jam puncak pemakaian yaitu pada jam 07.00-08.00 WIB. Pengukuran lapangan dilakukan untuk parameter suhu, pH, tekanan dan *Escherichia coli*. Nilai dari pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk analisis regresi dan korelasi untuk melihat pengaruh dan hubungan dari masing-masing parameter, seperti pH, suhu, tekanan, jarak, dan *Escherichia coli* terhadap sisa klor. Penentuan jenis korelasi yang digunakan menggunakan uji normalitas dengan seluruh parameter. Pada penelitian ini metode uji normalitas data yang digunakan adalah *Shapiro-wilk* karena jumlah sampel kurang dari 50. Hasil uji normalitas terhadap semua parameter dapat dilihat pada **Tabel 4.8**

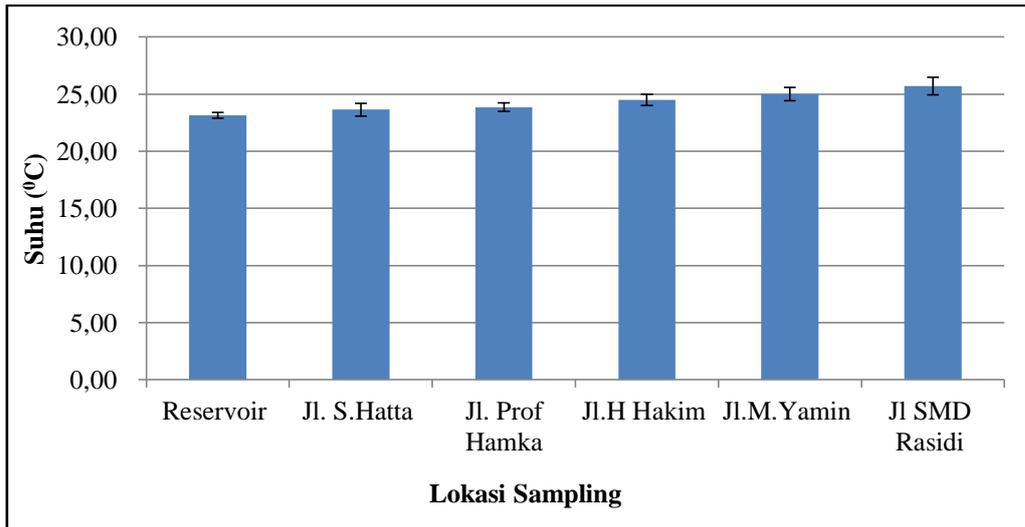
Tabel 4.8 Uji Normalitas Parameter

No	Parameter	Nilai Signifikansi	Analisis
1	Suhu	0,090	<i>Pearson.</i>
2	Ph	0,054	<i>Pearson.</i>
3	Tekanan	0,052	<i>Pearson.</i>
4	Jarak	0,130	<i>Pearson.</i>
5	<i>Escherichia coli</i>	0,002	<i>Rank Spearman</i>
6	Sisa klor	0,200	<i>Pearson.</i>

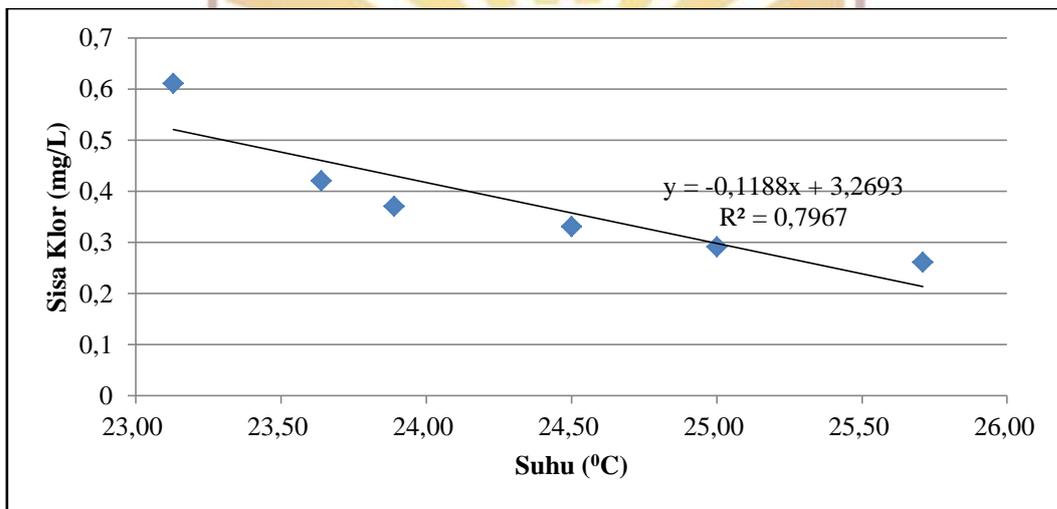
Dari hasil diatas didapatkan nilai lima parameter memiliki nilai signifikansi besar dari 0,05. Data yang terdistribusi normal adalah data yang memiliki nilai signifikansi besar dari 0,05 sehingga analisis korelasi yang digunakan adalah analisis *Pearson*. Parameter *Escherichia coli* menunjukkan signifikansi kecil dari 0,05 sehingga analisis korelasi yang digunakan adalah analisis Rank Spearman.

4.7.1 Suhu

Nilai suhu yang didapatkan pada lokasi sampling tidak terlalu berfluktuasi yaitu berkisar antara rentang 23,14°C-25,71°C. Pada **Gambar 4.19** dapat dilihat suhu terendah terdapat pada lokasi reservoir dan tertinggi pada jalan Syekh.M.Daud Rasyidi. Nilai ini masih memenuhi rentang baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 yaitu suhu harus berada pada rentang ± 3 suhu udara yaitu pada 20°C-30°C.



Gambar 4.19 Rata-rata Suhu pada Lokasi Sampling



Gambar 4.20 Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor

Berdasarkan pengukuran di lapangan adanya kecenderungan peningkatan suhu namun tidak signifikan. Hal ini diakibatkan oleh suhu wilayah Padang Panjang yang tidak terlalu ekstrim sehingga intensitas sinar matahari yang masuk pada jaringan distribusi cenderung sama dan tidak berfluktuasi. Parameter suhu dapat mempengaruhi proses disinfeksi dalam air walaupun tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sejalan dengan penelitian Hermiyanti dan Wulandari (2017) di jaringan distribusi kota Surabaya memperoleh hasil walaupun tidak signifikan, peningkatan suhu menyebabkan kadar sisa klor berkurang. Suhu air 30 °C menghasilkan kadar klor sebesar 0,5 mg/L namun pada suhu 32°C kadar sisa klor turun menjadi 0,1 mg/L. Kadar klor menjadi tidak memenuhi persyaratan

minimum pada jaringan distribusi sehingga kurang efektif dalam proses disinfeksi.

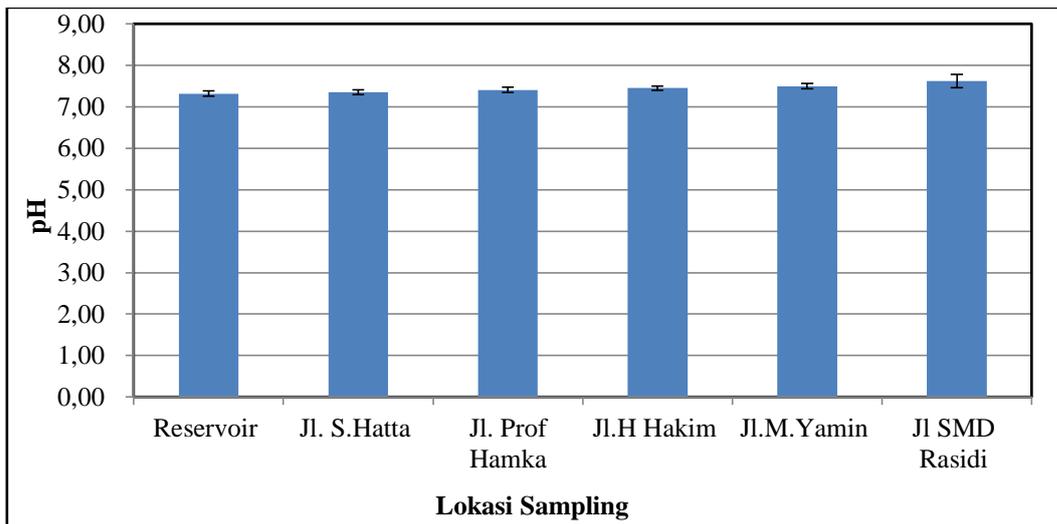
Tabel 4.9 Hubungan Suhu Terhadap Sisa Klor

		Correlations	
		Sisa Klor	Suhu
Sisa klor	Correlation	1	-,678
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	42	42
Suhu	Correlation	-,678	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	42	42

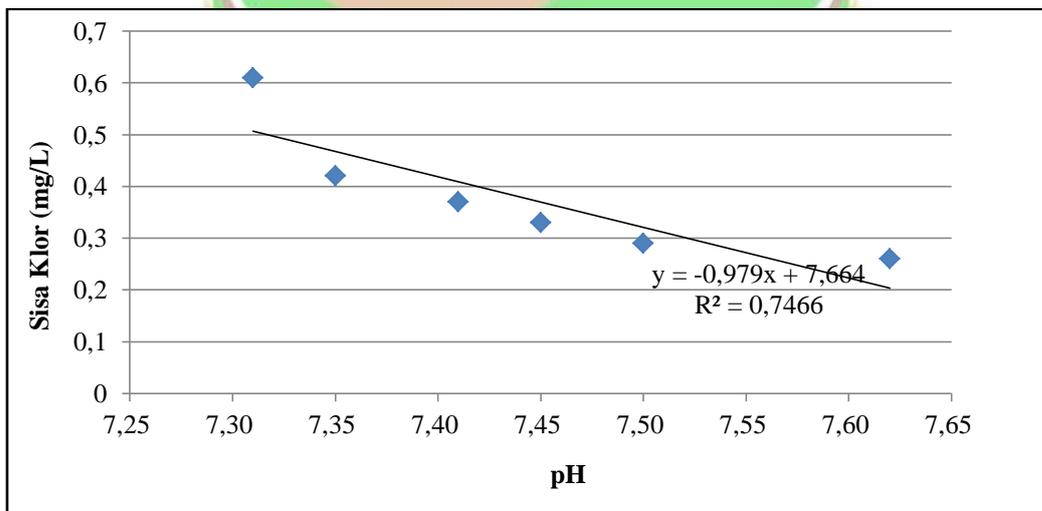
Berdasarkan hasil uji korelasi *Pearson* hubungan suhu terhadap sisa klor dapat dilihat pada **Tabel 4.9**. Sisa klor dengan suhu memiliki nilai korelasi -0,678 yang menunjukkan hubungan/korelasi kuat. Berdasarkan penelitian nilai negatif berarti hubungan antar variabel berbanding terbalik, semakin tinggi nilai suhu maka kadar sisa klor semakin menurun. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Achmit (2018) bahwa peningkatan suhu air menyebabkan penurunan efektivitas desinfektan karena penurunan keaktifan (%HOCl), sehingga kadar klor berkurang. Penelitian yang dilakukan oleh Avilaa, dkk (2020) menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu air maka peluruhan klor semakin besar. Meningkatnya suhu menyebabkan nilai *koefisien bulk* (Kb) juga meningkat sehingga peluruhan klor semakin besar dan kadar klor semakin berkurang di jaringan distribusi. Terlihat dari pengukuran pada bulan Juli, Agustus, September, Januari, Februari dan Maret menunjukkan suhu sebesar 15,7°C, 16,3°C, 17,1°C, 18,7°C, 18,8°C dan 19,4°C dengan nilai Kb masing-masing 0,124; 0,163; 0,128; 0,133; 0,192; 0,163 h dengan nilai Kb rata-rata 0,154 h. Selain itu suhu juga akan mempengaruhi kecepatan reaksi redoks klor dengan beberapa logam di dalam air. Kenaikan suhu akan menyebabkan reaksi redoks menjadi semakin cepat. Hal ini akan menyebabkan konsentrasi klor semakin kecil di jaringan distribusi air tersebut (Gunawan, 2020).

4.7.2 pH

Pengukuran nilai pH pada jaringan distribusi DMA 2 Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang menunjukkan nilai pH tidak terlalu signifikan yaitu berada pada rentang 7,31-7,62. Nilai ini masih memenuhi baku mutu kualitas air minum berdasarkan Permenkes No. 492 Tahun 2010 yakni sebesar 6,5-8,5. Berikut merupakan rekapitulasi nilai pH selama tujuh hari pengukuran lapangan pada jaringan distribusi pada **Gambar 4.21**.



Gambar 4.21 Rata-rata pH pada Lokasi Sampling



Gambar 4.22 Pengaruh pH Terhadap Sisa Klor

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan adanya kecenderungan peningkatan pH seiring dengan penurunan kadar sisa klor seperti terlihat pada **Gambar 4.22**. Hasil pemeriksaan lapangan didapatkan sisa klor 0,26 mg/L dengan pH sebesar 7,62

dan sisa klor 0,61 mg/L dengan nilai pH 7,31. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Ramadhan (2021) yaitu kadar klor 0,32 mg/L dengan pH 7,5 dan kadar klor 0,37 mg/L dengan pH 7. Hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa kondisi air berada pada suasana mendekati netral. Pengukuran selama 7 hari menunjukkan bahwa proses disinfeksi berjalan stabil sehingga tidak merubah nilai pH secara signifikan.

Tabel 4.10 Hubungan pH Terhadap Sisa Klor

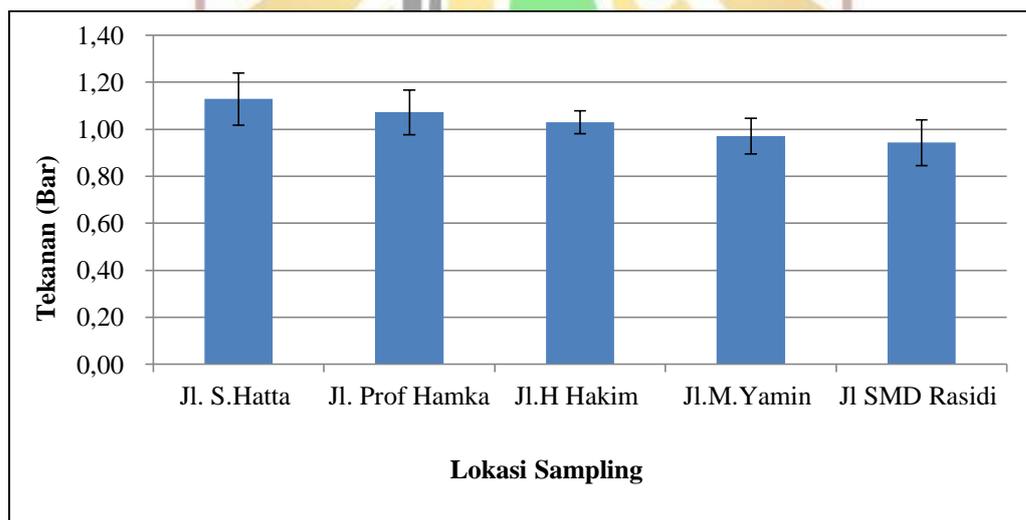
		Correlations	
		Sisa Klor	pH
Sisa klor	Correlation	1	-,614
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	42	42
pH	Correlation	-,614	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	42	42

Berdasarkan korelasi *Pearson* pada **Tabel 4.10**, sisa klor dengan pH memiliki nilai korelasi -0,614 menunjukkan hubungan/korelasi kuat, nilai negatif (-) berarti semakin tinggi nilai pH kadar sisa klor semakin menurun. Perubahan pH dalam air karena adanya hubungan dengan daya kerja klor. Kaporit bereaksi dalam air menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl⁻). Daya kerja klor dari Asam hipoklorit (HOCl) lebih efisien daripada ion hipoklorit (OCl⁻). Jumlah Asam hipoklorit (HOCl) dapat dikontrol oleh nilai pH. Berdasarkan penelitian Achmit,dkk (2018) klorinasi yang efektif membutuhkan pH mendekati netral (7-7,5). Kadar klor menurun seiring dengan meningkatnya pH, hal ini disebabkan oleh penurunan persentase keaktifan asam hipoklorit (HOCl). Pada pH 7 daya kerja klor dihasilkan 80% keaktifan asam hipoklorit, pada pH 7,5 dihasilkan 50% keaktifan asam hipoklorit, namun pada pH 8 daya kerja klor menurun menjadi 40%. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Hermiyanti, 2017. Jika nilai pH lebih dari 8 maka asam hipoklorit mengalami ionisasi menjadi ion hipoklorit sehingga asam hipoklorit mengalami penurunan. Asam hipoklorit yang semakin berkurang

dalam jaringan air minum menyebabkan kurangnya kemampuan untuk membunuh bakteri yang masuk selama proses distribusi (Hermiyanti dan Wulandari, 2017).

4.7.3 Tekanan

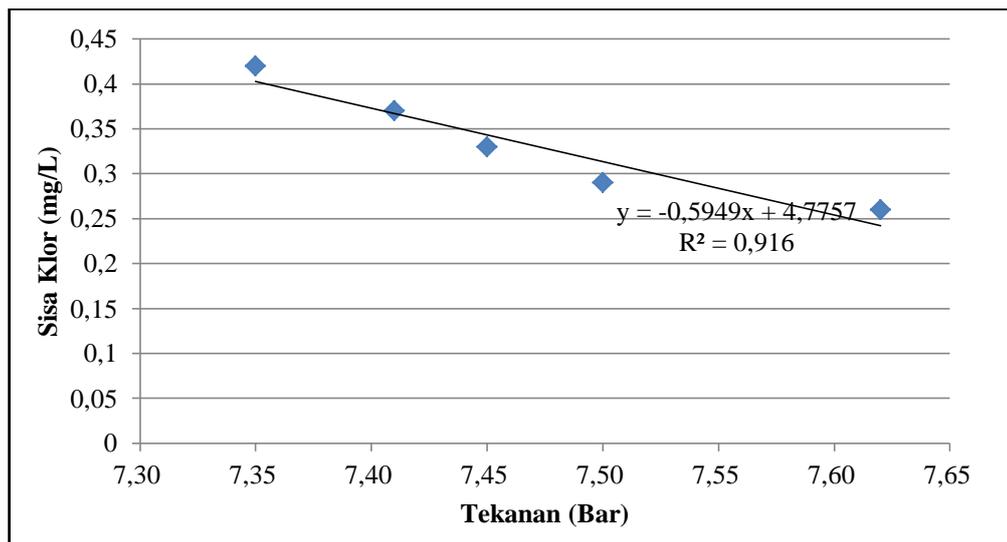
Pengukuran nilai tekanan pada jaringan distribusi DMA 2 Zona Bukit Surungan PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang menunjukkan nilai tekanan pada rentang 0,94 Bar-1,13 Bar. Berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknis dan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Tahun 2016, tekanan dalam pipa pelayanan pelanggan minimal 0,5 Bar (5 m), sehingga nilai tekanan pada pengukuran lapangan berada dalam rentang baku mutu yang ditetapkan seperti terdapat dalam **Gambar 4.23**. Nilai tekanan terendah terdapat pada lokasi terjauh dari reservoir. Nilai tekanan bergantung jauh dekatnya lokasi pengukuran terhadap reservoir. Pertambahan jarak menyebabkan penurunan nilai tekanan dan konsentrasi sisa klor (Al Khakim, 2017). Shamsaei (2013) pada penelitiannya juga membuktikan bahwa tekanan memiliki hubungan langsung dengan sisa klor dan berpengaruh terhadap penurunan sisa klor, pada tekanan 0 m - 58 m dengan nilai sisa klor dari 0,6 mg/L hingga 1,2 mg/L.



Gambar 4.23 Rata-Rata Tekanan pada Lokasi Sampling

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan adanya kecenderungan penurunan tekanan seiring dengan penurunan kadar sisa klor seperti terlihat pada **Gambar 4.24**. Tekanan yang rendah menyebabkan kadar sisa klor juga rendah. Hasil pengukuran menampilkan nilai tekanan 0,94 bar didapatkan sisa klor 0,26 mg/L

dan nilai tekanan 1,13 bar didapatkan nilai sisa klor 0,40 mg/L. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Damayanti (2020) terjadi penurunan nilai tekanan dan kadar klor dimana saat nilai tekanan 0,51 bar didapatkan kadar sisa klor 0,95 mg/L dan nilai tekanan 0,67 bar didapatkan kadar sisa klor 1,27 mg/L. Salah satu yang memengaruhi tekanan adalah elevasi, elevasi titik tertinggi terus menurun hingga titik terakhir, elevasi dapat membantu untuk mengalirkan air dengan pipa yang dipasang miring sesuai dengan elevasi dapat memengaruhi kecepatan aliran dan tekanan.



Gambar 4.24 Pengaruh Tekanan Terhadap Sisa Klor

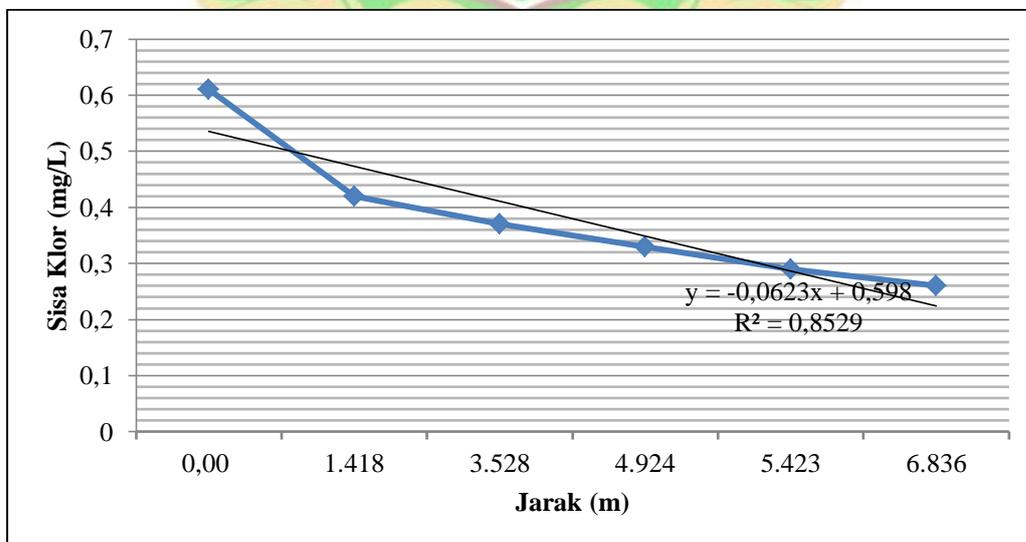
Berdasarkan analisis korelasi *Pearson* nilai tekanan terhadap sisa klor memiliki hubungan kuat dengan nilai 0,786 seperti terdapat pada **Tabel 4.11**. Hal tersebut berarti semakin rendah tekanan semakin rendah pula sisa klor nya. Hubungan searah ini karena tekanan dan sisa klor dihubungkan dengan jarak. Pertambahan jarak menyebabkan penurunan nilai tekanan dan konsentrasi sisa klor (Al Khakim, 2017). Faktor lain dikarenakan adanya pengaruh tekanan air pada kecepatan aliran dalam pipa. Saat tekanan kecil maka kecepatan aliran akan lambat dan dapat memengaruhi umur air di dalam pipa. Selain itu, perbedaan tekanan yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti kebocoran pipa pelanggan maupun adanya sambungan pipa yang tidak terpasang dengan baik yang memengaruhi kualitas air didalamnya.

Tabel 4.11 Hubungan Tekanan Terhadap Sisa Klor

		Correlations	
		Sisa Klor	Tekanan
Sisa klor	Correlation	1	,786
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	42	42
Tekanan	Correlation	,786	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	42	42

4.7.4 Jarak

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan penurunan sisa klor seiring dengan penambahan jarak seperti pada **Gambar 4.25**. Pada jarak terdekat dengan reservoir yaitu 1,418 m didapatkan kadar sisa klor 0,37 mg/L dan pada jarak terjauh yaitu 6,836 m kadar klor menurun menjadi 0,26 mg/L. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Zahrotul dkk (2018), semakin jauh jarak yang ditempuh, konsentrasi klorin di titik atau jalur distribusi akan semakin rendah. Konsentrasi klor dengan jarak 1200 m yaitu 0,39 mg/L ke jarak 1300 m mengalami penurunan yaitu sebesar 0,37 mg/L dikarenakan, faktor jarak tempuh dan perubahan kecepatan yang semakin kecil.



Gambar 4.25 Pengaruh Jarak Terhadap Sisa Klor

Penelitian Vakalisa (2019) juga menyatakan bahwa penambahan jarak menyebabkan penurunan kadar sisa klor. Penurunan sisa klor akibat adanya jarak tempuh yang diperlukan air untuk sampai ke pelanggan dan akibat sisa klor bereaksi dengan komponen-komponen yang ada di dalam air. Berdasarkan penelitian Devarakonda (2010), bahwa dalam pipa loop klorin meluruh karena kombinasi peluruhan massal (*bulk*) dan dinding pipa (*wall*). Penurunan konsentrasi sisa klor disebabkan oleh semakin banyak bahan organik dan mikroorganisme yang bereaksi di dalam air. *Bulk reaction* juga dipengaruhi oleh *water age* (umur air). Umur air di dalam pipa dipengaruhi oleh jarak (panjang pipa) dan kecepatan aliran. Semakin lambat kecepatan aliran maka waktu tinggal akan semakin lama sehingga semakin hilang sisa klor. Pengaruh penurunan klor akibat reaksi dinding pipa dipengaruhi oleh kekasaran pipa, material pipa, jenis pipa serta diameter yang digunakan.

Tabel 4.12 Hubungan Jarak Terhadap Sisa Klor

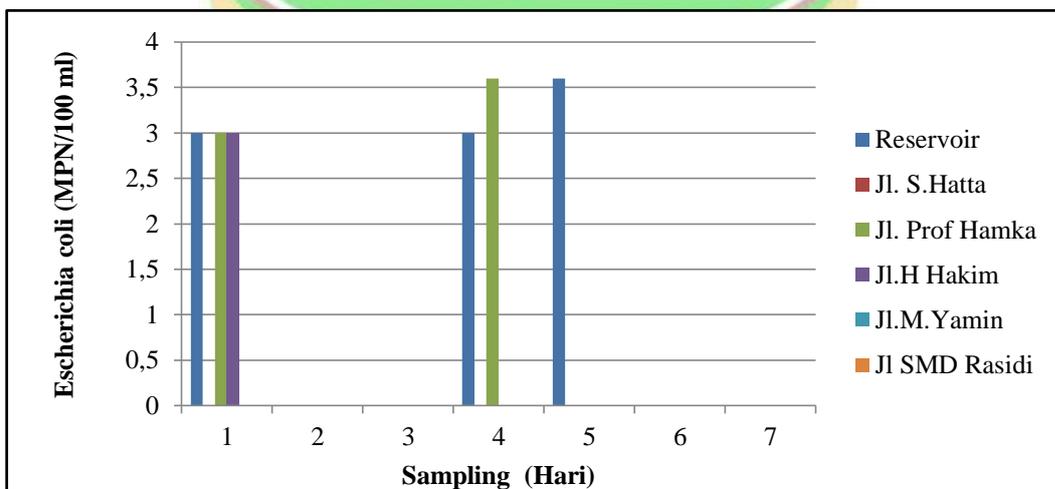
		Correlations	
		Sisa Klor	Jarak
Sisa klor	Correlation	1	-,821
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	42	42
Jarak	Correlation	-,821	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	42	42

Berdasarkan **Gambar 4.12** nilai korelasi hasil analisis *Pearson* terhadap jarak adalah -0,821. Nilai tersebut menunjukkan hubungan antar jarak dan sisa klor memiliki tingkat hubungan yang kuat, jarak distribusi sangat mempengaruhi keberadaan kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air minum. Tanda (-) berarti hubungan antar variabel berbanding terbalik yaitu semakin jauh jarak distribusi air minum, kadar sisa klor akan semakin menurun. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Asryadin (2012) menerangkan bahwa penurunan kadar sisa klor bebas akan berkurang selama perjalanan air sampai ke konsumen. Hal itu disebabkan oleh daya kerja klor aktif selama perjalanan dan kontak dengan

mikroorganisme penyebab kontaminasi air. Sisa klor yang terdapat dalam pipa distribusi akan bereaksi untuk membunuh bakteri-bakteri yang tumbuh di sepanjang dinding pipa sehingga kadar sisa klor akan semakin menurun terhadap jarak.

4.7.5 Bakteri *Escherichia coli*

Berdasarkan uji laboratorium rata-rata nilai *Escherichia coli* berkisar antara 0-3,6 MPN/100 ml sampel. Nilai *Escherichia coli* seperti **Gambar 4.26** terdapat 3 lokasi yang belum memenuhi baku mutu Permenkas No. 492 Tahun 2010 yaitu maksimum 0/100 ml sampel. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan masih terdapatnya *Escherichia coli* dalam jaringan distribusi dengan nilai MPN Tertinggi yaitu 3,6 MPN/100 ml. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Zohratul dkk (2018) bahwa tidak terdapat bakteri *Escherichia coli* pada kadar sisa klor 0,13 mg/L - 0,8 mg/L dalam air minum namun, pada sisa klor 0,08 terdapat bakteri *Escherichia coli* sebanyak 2,2 MPN/100 ml sampel. Kaporit bereaksi dengan air menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl-) yang merupakan zat pembasmi yang paling efisien bagi bakteri dan mikroorganisme. Asam hipoklorit (HOCl) jika terabsorpsi oleh bakteri patogen yang ada dalam air akan dapat merusak struktur sel dari bakteri dan mikroorganisme patogen tersebut (Gunawan, 2020).



Gambar 4.26 Kandungan *Escherichia coli* pada Lokasi Sampling

Bagian dari sel bakteri dan mikroorganisme yang akan mengalami kerusakan terutama pada bagian dinding sel, selaput plasma, protoplasma, nukleoid dan

DNA. Hal ini dapat terjadi karena HOC1 bersifat asam dan sel bakteri tersebut sebagian besar (sekitar 38 %) tersusun atas protein. Protein ini juga merupakan komponen terpenting dari struktur sel bakteri karena berperan dalam kekakuan struktur, permeabilitas sel, mengatur kadar metabolit sel, menyebabkan gerakan sel, dan pembentukan DNA. Asam hipoklorit (HOC1) akan dapat memutuskan ikatan-ikatan peptida dari protein penyusun sel tersebut sehingga sel bakteri akan mengalami lisis karena protein sebagai komponen utamanya telah rusak. Dengan lisisnya sel, maka bakteri tersebut juga akan mengalami lisis dan menjadi tidak aktif. Dengan adanya proses disinfeksi terhadap bakteri-bakteri patogen ini maka konsentrasi klor aktif akan cenderung mengalami penurunan dari konsentrasi maksimum pada *reservoir* sampai pada konsentrasi minimum pada titik terjauh (konsumen terjauh) pada saluran pipa distribusi (Zahrotul dkk, 2018). Korelasi antara kadar sisa klor dengan *Escherichia coli* memiliki hubungan lemah dengan nilai 0,198 seperti terlihat pada **Tabel 4.13**. Klor dapat merusak sel bakteri sehingga menyebabkan pengurangan ukuran sel serta kerusakan dinding sel. Namun bakteri yang rusak seperti *Escherichia coli* mampu balik dan tetap bersifat patogen bagi pengguna air (Said,2007).

Tabel 4.13 Hubungan *Escherichia coli* Terhadap Sisa Klor Terhadap

		Correlations	
		Sisa klor	<i>Escherichia coli</i>
Sisa klor	Correlation	1	,198
	Sig. (2-tailed)		,184
	N	42	42
<i>Escherichia coli</i>	Correlation	,198	1
	Sig. (2-tailed)	,184	
	N	42	42

4.8 Analisis Pengaruh Parameter Terhadap Sisa Klor

Analisis pengaruh antara parameter jarak, pH, suhu, dan tekanan terhadap sisa klor dilakukan melalui analisis regresi seperti terlihat pada **Tabel 4.14**. Berdasarkan hasil analisis regresi persentase nilai determinasi menunjukkan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan. Persentase yang mendekati 1 atau

100% menunjukkan pengaruh yang semakin kuat. Nilai determinasi didapat dari regresi (r) yang dikuadratkan. Dari analisis yang telah dilakukan terlihat bahwa parameter dengan nilai determinasi tertinggi adalah jarak dengan nilai 85,19% yang berarti jarak sangat berpengaruh terhadap sisa klor pada jaringan distribusi. Parameter dengan nilai determinasi terendah adalah pH yang berarti semakin pH kurang berpengaruh terhadap sisa klor. Namun dengan nilai >0,5 ini berarti pH cukup berpengaruh terhadap sisa klor namun tidak sekuat pengaruh suhu terhadap sisa klor.

Tabel 4.14 Nilai Pengaruh Parameter Terhadap Sisa Klor

No	Parameter Terhadap Sisa Klor	Nilai R	Nilai Determinasi (R ²)
1.	Suhu	0,796	63,36 %
2.	pH	0,746	55,65 %
3.	Tekanan	0,853	72,76 %
4.	Jarak	0,923	85,19 %

4.9 Analisis Hubungan Parameter Terhadap Sisa Klor

Berdasarkan analisis korelasi parameter jarak, pH, suhu, tekanan berhubungan terhadap penyebaran sisa klor. Parameter jarak memiliki hubungan yang sangat kuat dengan nilai korelasi -0,821 terhadap nilai sisa klor pada jaringan distribusi DMA 2 PERUMDA Air Minum Kota Padang Panjang. Semakin jauh jarak jaringan distribusi air minum maka akan semakin rendah sisa klor pada jaringan tersebut. Kadar klor lokasi terjauh yaitu pada kawasan M. Daud Rasidi didapatkan sisa klor dibawah 0,2 mg/L, hal tersebut disebabkan karena kurangnya dosis klor yang dibubuhkan sehingga seiring dengan pertambahan jarak kadar klor berkurang. Korelasi sisa klor dengan *Escherichia coli* memiliki nilai yaitu 0,198. Nilai tersebut menandakan *Escherichia coli* tidak berkorelasi terhadap sisa klor pada jaringan distribusi.

Tabel 4.15 Nilai Korelasi Parameter Terhadap Sisa Klor

No	Parameter	Correlation	Keterangan
1	Suhu	-0,678	Kuat
2	Ph	-0.614	Kuat
3	Tekanan	0,786	Kuat
4	Jarak	-0,821	Sangat Kuat
5	<i>Escherichia coli</i>	0,198	Tidak berkorelasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

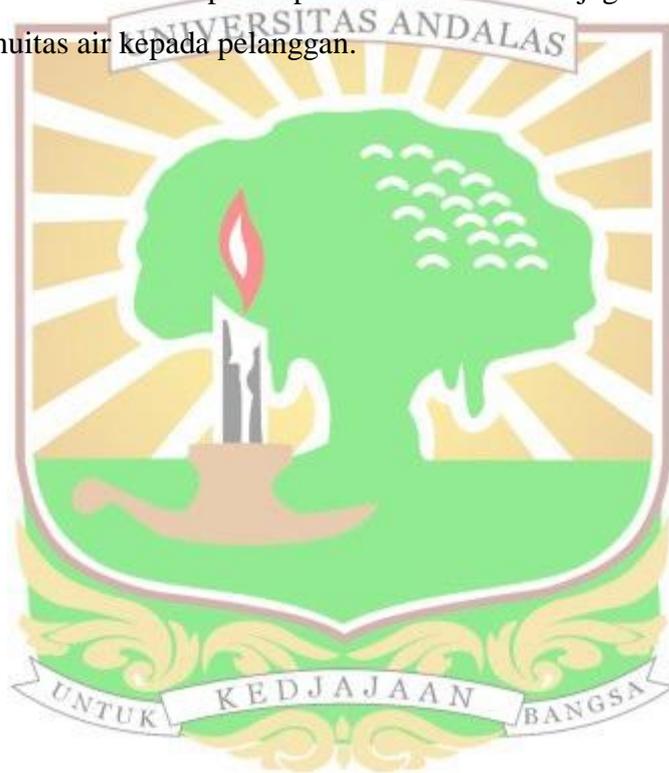
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada DMA 2 Zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Kota Padang Panjang maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan sisa klor berada pada rentang 0,26 mg/L-0,61 mg/L. Berdasarkan hasil pengukuran dengan *software Epanet* sisa klor berkisar antara 0,10-0,61 mg/L. Sisa klor di jaringan distribusi cenderung mengalami penurunan, pada saat jam puncak pemakaian terdapat 2 lokasi yang berada di bawah 0,2 mg/L diakibatkan lokasi tersebut merupakan lokasi dengan jarak terjauh dari reservoir.
2. Perbandingan hasil simulasi sisa klor dan tekanan dengan uji *Root Mean Square Error (RMSE)* untuk melihat kesesuaian hasil data simulasi *software Epanet* terhadap pengukuran lapangan. Kadar sisa klor dan nilai tekanan pengukuran di lapangan yang dibandingkan dengan *software Epanet* memiliki nilai RMSE masing masing 0,12 dan 0,47. Nilai RMSE tersebut menunjukkan kesesuaian hasil data pengukuran lapangan yang mendekati hasil pengukuran dari *software Epanet*.
3. Parameter yang berpengaruh terhadap kadar sisa klor adalah suhu dengan nilai determinasi 63,36%, pH 55,65%, tekanan 72,76%, dan jarak dengan nilai determinasi tertinggi yaitu 85,19%. Sedangkan hubungan parameter didapatkan dengan interpretasi kuat adalah suhu dengan korelasi -0,678, pH dengan korelasi -0,614, tekanan dengan korelasi 0,786, namun *Escherichia coli* dengan sisa klor tidak berkorelasi dengan nilai 0,198. Parameter yang paling berhubungan terhadap nilai sisa klor yaitu jarak dengan interpretasi sangat kuat dengan korelasi -0,821, semakin jauh jarak maka semakin rendah sisa klor pada jaringan tersebut.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlunya studi lanjutan dalam pembubuhan dosis kadar klor agar sisa klor yang sampai ke pelanggan memenuhi rentang persyaratan 0,2 mg/L- 1 mg/L.
2. Pengamatan sisa klor dan koefisien reaksi *bulk* dilakukan pada lokasi yang lebih banyak dengan rentang waktu yang lebih lama.
3. Diperlukan kajian lebih lanjut terhadap upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas penerapan DMA dalam menjaga kualitas, kuantitas dan kontinuitas air kepada pelanggan.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmit, M., Machkor M., Nawdali, M. Sbai, G., Karim, S., Aouniti, A., & Loukili, M. (2018). Study of the Influence of the Operating Parameters on the Fractions in HOCl and OCl⁻ During the Disinfection Phase. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2018, 10(4): 122-127
- Afrianita, R., Putri S.K. & Yose A. (2016). Kajian Kadar Sisa Klor Di Jaringan Distribusi Penyediaan Air Minum Rayon 8 PDAM Kota Padang. *Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II*. E-ISSN 2541-3880.
- Agustina, D.V dan La, N. I. M. (2007). Analisa Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih Pdam Kecamatan Banyumanik Di Perumnas Banyumanik (Studi Kasus Perumnas Banyumanik Kel . Spondol Wetan.
- Asryadin, Christyaningsih, J., dan Soedarjo. (2012). Pengaruh Jarak Tempuh Air Dari Unit Pengolahan Air Terhadap pH, Suhu, Kadar Sisa Klor dan Angka Lempeng Total Bakteri (ALTB) Pada PDAM Kota Bima Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Analis Kesehatan Sains Vol. 01 ISSN 2302-3635*. Poltekkes Surabaya: Surabaya.
- Al Khakim, A. R. (2017). *Dinamika Bakteri Coliform Disebabkan Oleh Tekanan, Kekeruhan dan Sisa Chlor di Kota Surabaya*. 89. <http://repository.its.ac.id/47732/>
- Alaerts, G., & Santika, S. S. (1987). *Metoda Penelitian Air* Alaerts, G., & Santika, S. S. (1987). *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional.
- Ali, M. (2010). *Peran Proses Desinfeksi dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produk Air Bersih*. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur: Surabaya. UPN Press.
- APHA, W. E. F. (2006). AWWA, 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Amer. Pub. Health Association. Washington DC.
- Assomadi, M. D. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.
- Avila, F.G., Carlos S.A.,Manuel C.G., Julio C.M., George G.M., & Cesar Z.A. (2020). Relationship Between Chlorine Decay and Temperature in the Drinking Water. *MethodsX*. Volume 7. ISSN 2215-1061. 7. 101002. 10.1016/j.mex.2020.101002.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 7509:2011 Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum*. Standar Nasional Indonesia.

- Black & Veatch Corporation. (2010). *White's handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. In Wiley, Hoboken, N.J.
- BPSDM, PUPR (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat). (2018). *Modul 9: Pengenalan Program EPANET*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan.
- BPPSPAM Badan Peningkatan Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. 2020. *Kriteria Teknis Pembentukan ZAMP di PDAM*. <http://www.pdamtirtabenteng.co.id/berita/bppspam>.
- Buckle (1978). *International Journal of Food Science & Technology*. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb00790>
- Busyairi, M., Dewi, Y. P., & Widodo, D. I. (2017). Efektivitas Kaporit pada Proses Klorinasi terhadap Penurunan Bakteri Coliform dari Limbah Rumah Sakit X Samarinda (The Effectiveness of Calcium Hypochlorite to Chlorination Process in Decreasing the Amount of Coliform Bacteria in the Wastewater of X). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2), 156.
- Crittenden, J. C., Trussel, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *13 Historical Perspective Methods of Disinfection Commonly Used in Water Treatment Disinfection Kinetics*. MWH's Water Treatment: Principles and Design.
- Damayanti. (2020). *Evaluasi Sistem Disinfeksi Pada PDAM Sleman Unit Nogotiro*. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Dewi, K. H., & Muttaqien, A. Y. (2015). Analisis Kehilangan Air Pada Pipa Jaringan Distribusi Air Bersih Pdam Kecamatan Baki, Kabupaten Sukoharjo. *1*, 9–16.
- Devarakonda, V N. Albert, M. Vicki, VB, Mark, G, Vincent H. (2010). Kinetics Of Free Chlorine Decay In Water Distribution Networks. *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change 2010*. ASC.
- Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen PU. (2004). Konsep Penyusunan Standar Pelayanan Bidang Air Minum, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Direktorat Jendral Tata Perkotaan dan Tata Perdesaan
- Direktorat Jendral Cipta Karya PUPR. (2007). *Buku Panduan Pengembangan Air Minum*. Program, 20, 1–47.
- Eka, B. (2016). *Analisis Kebutuhan Air Bersih Perkotaan*. 6(2), 49–63.
- Ekawati, N. P. (2010). *Analisis Kebocoran di Sub Zona Kerjo PDAM Karanganyar*.

- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Sigh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia.
- Fisher, I., Kastl, G., Sathasivan, A. (2012). *A Suitable Model Of Combined Effects Of Temperature And Initial Condition On Chlorine Bulk Decay In Water Distribution Systems*. *Water Res.* 46, hal. 3293-3303.
- Giles, R. V. (1993). *Mekanika Fluida dan Hidraulika*. Jakarta: Erlangga.
- Gunawan, I.A. 2020. *Analisis Konsentrasi Klor Aktif Pada Saluran Distribusi Air PDAM Kabupaten Buleleng*. Universitas Pendidikan Ganesha: Bali
- Gupta, R. (1993). *Hydrology & Hydraulic Systems*. Prantice Hall. New Jersey
- Haestad Methods. (2001). *User Guide WaterCAD v 4.5 for Windows*. Waterbury CT, USA : Haestad Press.
- Hansen, K Ms. Hans, JA. Henrik, RA. (2013). Optimal pH in Chlorinated Swimming Pools - Balances Formation By-Product. *Journal of Water and Health*. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark : [http : // dx .doi .org / 10 .2166/wh.2013.156](http://dx.doi.org/10.2166/wh.2013.156).
- Hasan, M. (2002). *Pokok-Pokok Materi Statistik 1 (Statistik Deskriptif)*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hasan, A. (2006). *Dampak Penggunaan Klorin*. J. Tek. Lingk. P3TL-BPPT.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hassan, F., & Masduqi, A. (2014). Pemodelan Penurunan Sisa Chlor Jaringan Distribusi Air Minum Dengan EPANET (Studi kasus Kecamatan Sukun Kota Malang). *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2), D188–D192. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/7866/1918>
- Hermanto, J. (2014). Evaluasi Dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Minum (Ipa I) Sungai Sengkuang Pdam Tirta Pancur Aji Kota Sanggau. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v2i1.5406>.
- Hermiyanti, P., dan Wulandari, E. T. (2017). Gambaran Sisa Klor Dan MPN Coliform Jaringan Distribusi Air PDAM. *Jurnal Media Kesehatan*. <https://doi.org/10.33088/Jmk.V10i2.333>
- International Standard Organization. (2007). *Microbiology of food and animal feeding stuffs - General requirements and guidance for microbiological examinations*. ISO 7218.
- Jawetz, Melnick, & Adelberg. (2007). *Mikrobiologi Kedokteran Edisi 23 Penerjemah Geo F Brooks, Janet S Butel, Stephen A Morse*. In *Kedokteran*

EGC.

- Joko, T. (2010). *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kawamura, S. (1991). *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. New York (US) : John Willey & Sons.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Modul Air Tak Berekening*. 66, 1–78.
- LeChevallier, M. W. (2013). *Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking-water*. Water Intelligence Online, 12. <https://doi.org/10.2166/9781780405858>
- Listiyaningrum, P, Rezagama A., Handayani D, S. 2015. *Analisis Simulasi Perubahan Konsentrasi Klorin dalam Pipa Distribusi Penyediaan Air Minum PDAM Demak Zona 3*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Liu, B., Reckhow, D.A., Li, Y. (2014). *A Two-site Chlorine Decay model For The Combined Effects Of pH, Water Distribution Temperature And In-home Heating Profiles using Differential Evolution*. Water Res. 53, hal. 47- 57
- M. Iqbal, H. H. (2001). *Pokok-pokok Materi Statistik I (Statistik Deskriptif)*. In Statistik deskriptif.
- Nuraeni. (2000). *Mikrobiologi Pangan dan Pengolahan*. Jember: Politeknik Negeri Jember.
- Machali, I. (2016). *Statistik Itu Mudah, Menggunakan SPSS Sebagai Alat Bantu Statistik* (Issue October 2015).
- Masduqi, A. d. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.
- Mays, LW. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company.
- Özdemir, Ö. (2018). *Water leakage management by district metered areas at water distribution networks*. Environmental Monitoring and Assessment. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6559-9>
- Pemerintah Indonesia. (2015). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 Tentang Sistem Penyediaan Air Minum*. Standar Pelayanan Minimal.
- Permenkes. (2002). *Syarat- syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum.Kemenkes Nomor 907 Tahun 2002*. 1–20.
- Permenkes. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. In Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia.

- Permenkes. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/Menkes/Per/Vi/2010 Tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Kemenkes RI; 2010.
- PermenPUPR. (2007). *Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum*.
- PermenPUPR. (2016). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*
- Pitojo, P. d. (2003). *Deteksi Pencemaran Air Minum*. Ungaran: CV.Aneka Ilmu.Hal 1-63 .
- Pizzi, N. (2010). *Water Treatment: Principles and practices of water supply operations*. In American Water works Association: Water-operator training textbook.
- Ponto, S. O., Kumenaung, A., & Wauran, P. (2015). Analisis Korelasi Sektor Pertanian terhadap Tingkat Kemiskinan di Kabupaten Kepulauan Sangihe. *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, Vol. 15(No. 04), 137–147.
- Pratiwi, S. T. (2008). *Mikrobiologi Farmasi*. In Erlangga.
- Prayitno. (2009). *Uji bakteriologi air baku dan air siap konsumsi dari PDAM Surakarta ditinjau dari jumlah bakteri Coliform*. (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- PUPR, K. (2000). *Pengenalan Program Epanet*. Perencanaan Teknis Air Minum Dengan Menggunakan Program Aplikasi Pengenalan Program *Epanet*, 1–26.
- Ramadhan, Agfian Ijlal dan Naniek Ratni J A R (2021). Analisa Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi Pdam Kabupaten Bantul Dengan *Epanet 2.0*. *Jurnal Envirous Vol 1 No 2 (2021)*. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
- Reynold, T. D., and Richards, P.A. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering (2nd ed)*. California: PWS Publishing Company.
- Riduan, R., & Sofia, E. (2017). Evaluasi Dan Analisis Pola Sebaran Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi Ipa Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*. <https://doi.org/10.20527/jukung.v3i2.4023>
- Rohim, M. 2006. *Analisis Penerapan Metode Kaportisasi sederhana terhadap Kualitas Bakteriologis Air PMA*. Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro.

- Rossmann, L. A. (2000). *Epanet 2 Users Manual*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati. [https://doi.org/10.1177/2\(Sistem Informasi Geografis\), 240–252.0306312708089715](https://doi.org/10.1177/2(Sistem%20Informasi%20Geografis),240-252.0306312708089715)
- Rr. Yossia Herlin, Arief Laila N. S.T., M. E., & Ir. Sutomo Kahar, M. S. (2013). *Jurnal Geodesi Undip Oktober 2013*. Geodesi Undip
- Rusli, K., & Susanto, A. (2019). Perhitungan Debit pada Sistem Jaringan Pupa dengan Metoda Hardy-Cross Menggunakan Rumus Hazen-Williams dan Rumus Manning. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 40–60. <https://doi.org/10.28932/jts.v5i1.1311>
- Said, N.I., (2007). *Desinfeksi untuk Proses Pengolahan Air Minum*. *Jurnal Air Indonesia*, 3(1):15-20.
- Santoso. (2003). *Mengatasi Berbagai Masalah Statistik dengan SPSS Versi 11.5*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Setiawan, D., Sibarani, J., & Suprihatin, I. (2013). Perbandingan Efektifitas Disinfektan Kaporit, Hidrogen Peroksida, Dan Pereaksi Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}). *Jurnal Cakra Kimia*, 1(2), 16–24.
- Shamsaei, H., Jaafar, O. J., & Basri, N. E. A. (2013). Disadvantage Pressure Changes on the Decline of Water Quality in Water Distribution Systems. *Engineering Journal*, 2013, 5, 97-105
- Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, C. (2016). Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas Di Jaringan Distribusi Ipa Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*. <https://doi.org/10.20527/jukung.v1i1.1043>
- Sugiarti. (2011). *Analisis Pengaruh Jarak Pengaliran, pH, Suhu, Tekanan, dan Kandungan Besi terhadap Konsentrasi Sisa Klor dan Koloni Coliform pada Sumber Air Waduk PDAM Kota Malang*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sujarweni, V. W. (2014). *SPSS untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Susetyo, B. (2010). *Statistika untuk Analisis Data Penelitian*. Bandung: Refika Aditama.
- Syahputra, B. (2012). Analisa Chlor pada Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Triatmadja, R. (2016). *Teknik Penyediaan Air Minum Perpipaan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Tururaja, T., Moge, R. (2010). *Bakteri Coliform di Perairan Teluk Doreri, Manokwari Aspek Pencemaran Laut dan Identifikasi Species*. Jurnal Ilmu Kelautan.

- U.S. EPA (1989) "Filtration and Disinfection; Turbidity, Giardia lamblia, Viruses, Legionella, and Heterotrophic Plate Count Bacteria. Final Rule," Fed. Reg. 54,124, June 29, 27486–27541 Waluyo. (2009). *Mikrobiologi Lingkungan*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press.
- Vakalisa Y., N. Shandu Pr.Sci.Nat., L. Magadla Cert.Nat.Sci. (2019). The effect of travelling time on chlorine decay in the distribution system. *Journal Test and Measurement Conference and Workshop*. Street, Houghton, Johannesburg, 2198, South Africa.
- Washington State Department of Health. (2016). *What if coliform bacteria are found in my water?* April, 2. <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/331-181.pdf>
- Winarno. (1992). *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wirawan, T., Helard, D., & Komala, P.T. (2020). Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Dan Perencanaan Pengendalian Tekanan Pada Zona Spam Jawa Gadut, Kecamatan Pauh, Pdam Kota Padang. *Jurnal Rekayasa*, 10(1), 121-136.
- World Health Organisation. (2007). *pH In Drinking-Water*. Guidelines for Drinking Water Quality.
- Yani, S.D dan Roosmini, D. (2008). *Pengaruh Jarak Terhadap Penurunan Sisa Klor di Jaringan Distribusi PAM Jaya Jakarta Daerah Pelayanan Jakarta Barat*. Program Studi Teknik Lingkungan, ITB: Bandung
- Yekti, M. I., Gede Pebriarta Pratama, I. B., & Ngurah Purbawijaya, I. B. (2020). Mitigasi Non Revenue Water (NRW) Sistem Jaringan Distribusi pada District Meter Area (DMA) Zona Kota Blahbatuh PDAM Gianyar. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(2), 180. <https://doi.org/10.14710/mkts.v25i2.23619>
- Zahrotul, M, Nurjazuli, Trijoko. (2018). Hubungan Jarak Tempuh Dengan Kadar Sisa Chlor Bebas Dan Mpn Coliform Di Pdam Reservoir Medini Kudus. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol 6 No 6*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>

ANALISIS KANDUNGAN SISA KLOOR DAN ESCHERICHIA COLI DALAM JARINGAN DISTRIBUSI DI DISTRICT METER AREA (DMA) 2 ZONA BUKIT SURUNGAN PERUSAHAAN UMUM DAERAH (PERUMDA) AIR MINUM KOTA PADANG PANJANG

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

14%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.scribd.com Internet Source	3%
2	ppjp.ulm.ac.id Internet Source	2%
3	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	2%
4	ssu.ac.ir Internet Source	1%
5	repository.its.ac.id Internet Source	1%
6	repository.unand.ac.id Internet Source	1%
7	griyabayarbtn.com Internet Source	1%
8	repository.stikes-bhm.ac.id Internet Source	1%

9 jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id 1 %
Internet Source

10 bpsdm.pu.go.id 1 %
Internet Source

11 docplayer.info 1 %
Internet Source

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On