

**ANALISIS KONSENTRASI KLOR BEBAS DALAM JARINGAN  
DISTRIBUSI AIR BERSIH PADA ZONA 1 PDAM TIRTA DAROY  
KOTA BANDA ACEH**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Oleh:**

**DONI RAMADHAN**

**NIM. 150702044**

**Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi**

**Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH  
2022/1443 H**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISIS KONSENTRASI KLOOR BEBAS DALAM JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH PADA ZONA 1 PDAM TIRTA DAROY KOTA BANDA ACEH

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana Dalam Prodi Teknik Lingkungan

Oleh:

**DONI RAMADHAN**

**NIM. 150702044**

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Sains dan Teknologi

Disetujui Oleh:

**Pembimbing I,**

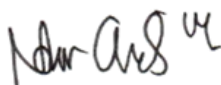
**Pembimbing II,**

  
**Ir. Yeggi Darnas, M.T.**  
**NIDN. 2020067905**

  
**Aulia Rohendi, M.Sc.**  
**NIDN. 2010048202**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh**

  
**Dr. Eng. Nur Aida, M.Sc.**  
**NIDN. 2016067801**

## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

### ANALISIS KONSENTRASI KLOR BEBAS DALAM JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH PADA ZONA 1 PDAM TIRTA DAROY KOTA BANDA ACEH

#### TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Kamis, 07 Juli 2022  
08 Dzulhijah 1443

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,



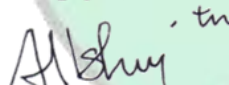
Ir. Yeggi Darnas, M.T.  
NIDN. 2020067905

Sekretaris,



Aulia Rohendi, M.Sc.  
NIDN. 2010048202

Penguji I,



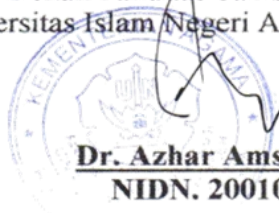
Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.  
NIDN. 2002028301

Penguji II,



M. Faisi Ikhwal, S.T., M. Eng.  
NIDN. 2008109101

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd.  
NIDN. 2001066802

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Doni Ramadhan

NIM : 150702044

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Analisis Konsentrasi Klor Bebas dalam Jaringan Distribusi Air Bersih  
Pada Zona I PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Banda Aceh, 07 Juli 2022

Yang Menyatakan,



Doni Ramadhan

## ABSTRAK

Nama : Doni Ramadhan  
Nim : 150702044  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Analisis Konsentrasi Klor Bebas dalam Jaringan Distribusi Air Bersih Pada Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh  
Tebal Halaman : 80 Halaman  
Pembimbing I : Ir. Yeggi Darnas, M.T.  
Pembimbing II : Aulia Rohendi, M.Sc.  
Kata Kunci : *EPANET 2.2*, Sisa Klor, pH, Suhu, Jarak.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy merupakan penyuplai kebutuhan air bagi masyarakat yang berada di kota Banda Aceh. Salah satu metode yang digunakan untuk menjaga kualitas air adalah disinfeksi. Disinfeksi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen yang ada dalam air. Disinfektan yang sering digunakan dalam proses disinfeksi merupakan klor. Menurut peraturan Menteri kesehatan Republik Indonesia No. 492 tahun 2010 sisa klor yang diperbolehkan yaitu 0,2 – 0,5 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran konsentrasi sisa klor pada zona 1 PDAM Tirta Daroy. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dan jumlah sampel yang digunakan sebanyak 11 sampel. Metode analisis data yang digunakan adalah statistik deskriptif. Analisis data dilakukan dengan software epanet 2.2 dan Statistical Product and Service Solutions (SPSS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat konsentrasi sisa klor belum memenuhi baku mutu pada 8 lokasi dimana sampel diambil dan nilainya masih di bawah persyaratan minimal yaitu 0,2 mg/L. Perbandingan hasil simulasi konsentrasi sisa klor dilakukan dengan uji Root Mean Square Error (RMSE) hal ini bertujuan untuk melihat tingkat kesamaan data hasil simulasi software Epanet 2.2 dengan data observasi di lapangan. Hasil perbandingan konsentrasi sisa klor pengukuran di lapangan dan software Epanet didapatkan nilai RMSE 0,264, semakin mendekati nol Nilai RMSE tersebut, maka hasil data observasi lapangan tersebut mendekati hasil software Epanet. Hasil analisis korelasi menunjukkan parameter jarak dan pH menunjukkan korelasi sangat kuat, sedangkan suhu berkorelasi lemah.

## ABSTRACT

Name :Doni Ramadhan  
Nim :150702044  
Study Program :Environmental Engineering  
Title :Analysis of Free Chlorine Concentration in Clean Water Distribution Network in Zone 1 of PDAM Tirta Daroy Banda Aceh City  
Page Bold :80 Page  
Supervisor I :Ir.Yeggi Darnas, M.T.  
Supervisor II :Aulia Rohendi, M.Sc.  
Keywords :EPANET 2.2, Free Chlorine, pH, Temperature, Distance.

Regional Drinking Water Company (PDAM) Tirta Daroy is a supplier of water needs for people in Banda Aceh city. One of the methods used to maintain water quality is disinfection. Disinfection is one of the methods used to eliminate pathogenic microorganisms present in water. A disinfectant that is often used in the disinfection process is chlorine. According to the regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia No. 492 of 2010, the remaining chlorine allowed is 0.2 – 0.5 mg / L. This study aims to determine the spread of residual chlorine concentrations in zone 1 of PDAM Tirta Daroy. The research method used is a quantitative method and the number of samples used is 11 samples. The data analysis method used is descriptive statistics. Data analysis was performed with Epanet 2.2 software and Statistical Product and Service Solutions (SPSS). The results showed that there were still residual concentrations of chlorine that did not meet the quality standards at 8 locations where samples were taken and the value was still below the minimum requirement of 0.2 mg / L. Comparison of the results of the simulation of residual chlorine concentrations was carried out with the Root Mean Square Error (RMSE) test, this aims to see the level of similarity of the Epanet 2.2 software simulation data with observation data in the field. The results of the comparison of the concentration of residual chlorine measurements in the field and Epanet software obtained an RMSE value of 0.264, the closer to zero the RMSE value, the results of the field observation data were close to the results of the Epanet software. The results of the correlation analysis showed that the distance and pH parameters showed a very strong correlation, while the temperature correlated weakly.

## KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan *Alhamdulillah* segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Swt., karena berkat *rahmat* dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Konsentrasi Klor Bebas dalam Jaringan Distribusi Air Bersih pada Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Strata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, dalam melakukan Tugas Akhir penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, beserta seluruh keluarga dan sanak saudara yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat selama penyelesaian Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Yeggi Darnas, M.T. Selaku Pembimbing I dan Bapak Aulia Rohendi, M.Sc. selaku Pembimbing II yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan Tugas Akhir.
4. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan pengalaman.

5. Bapak M. Faisi Ikhwal, S.T., M. Eng. selaku Penasihat Akademik saya yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama masa perkuliahan serta memberi solusi pada setiap permasalahan Tugas Akhir.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah berkenan memberi tambahan ilmu, pengalaman dan arahan kepada penulis.
7. Staf Program Studi Teknik Lingkungan dan Staf Tata Usaha/Akademik Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu membantu dalam pengurusan administrasi selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan angkatan 2015 yang selalu memberikan dorongan semangat serta motivasi.

Akhir kata penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan metode dalam mengelola lingkungan hidup.

Banda Aceh, 27 Juni 2022

Penulis,

Doni Ramadhan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Persyaratan Kualitas Air Minum .....	6
2.2 Persyaratan Kuantitas Air Minum .....	8
2.3 Unit dan Sistem Distribusi Air Minum.....	9
2.4 Komponen Jaringan Distribusi Air Minum .....	10
2.5 Jenis - Jenis Pipa .....	11

2.6	Disinfeksi.....	12
2.7	EPANET 2.2.....	17
2.8	Profil PDAM Tirta Daroy Banda Aceh.....	21
2.9	Metode Uji Statistik.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>27</b>
3.1	Bagan Alir Penelitian.....	27
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.3	Metode Penelitian.....	29
3.4	Pengambilan dan Pengujian Data.....	33
3.5	Analisis Data dan Pembahasan Hasil.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>38</b>
4.1	Umum.....	38
4.2	Hasil Pengujian Sisa Konsentrasi Klor.....	38
4.3	Pola Sebaran Sisa Konsentrasi Klor Bebas pada Jaringan Distribusi....	41
4.4	Perbandingan Konsentrasi Sisa Klor Hasil Observasi dan <i>EPANET</i> 2.2 .....	49
4.5	Hasil Pengukuran dan Analisis Hubungan Antar Parameter Terhadap Sisa Klor.....	51
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>57</b>
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>63</b>

## DAFTAR TABEL

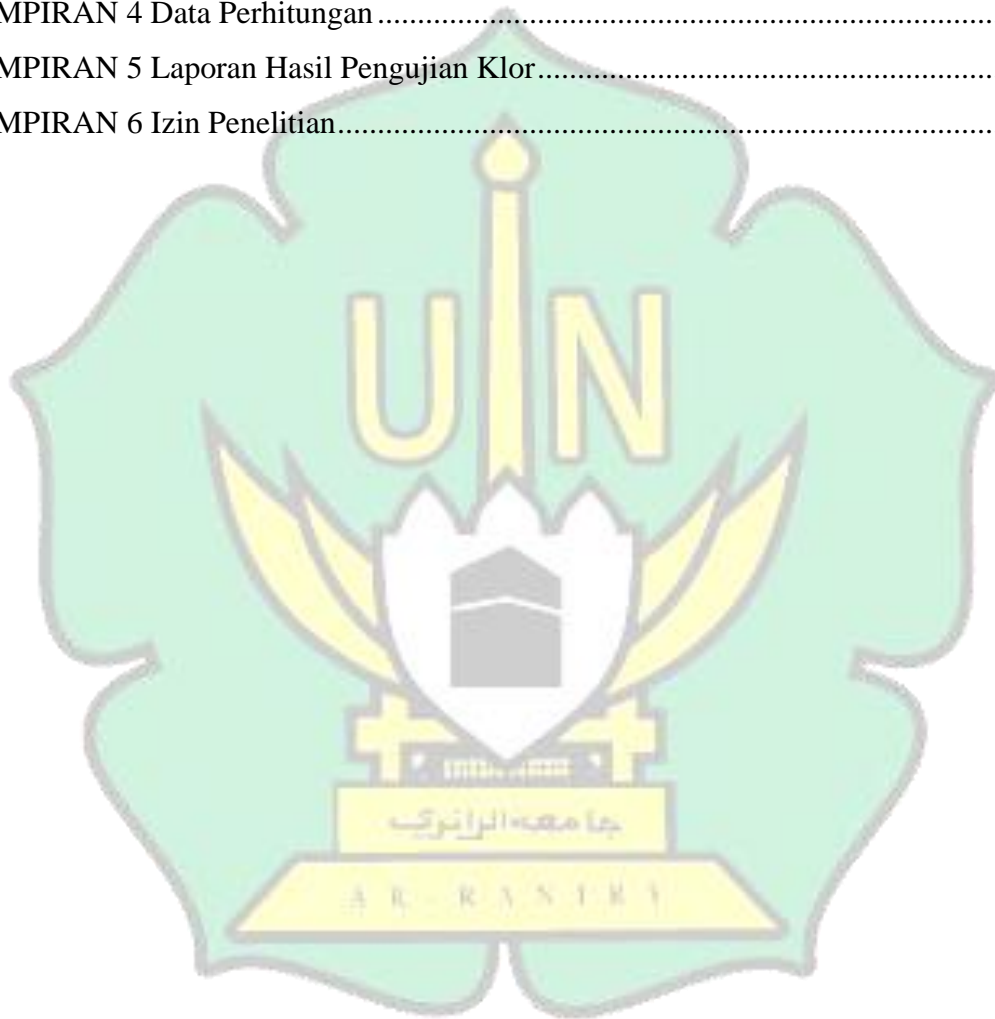
Tabel 2. 1 Persyaratan Kualitas Air Minum.....	7
Tabel 2. 2 Kategori Kebutuhan Air per Wilayah .....	8
Tabel 2. 3 Nilai koefisien Hazen-William setiap jenis pipa.....	12
Tabel 2. 4 Jenis dan Sifat Bahan Disinfeksi.....	13
Tabel 2. 5 Pengaruh Klor Bebas Pada Beberapa Tingkat Konsentrasi .....	14
Tabel 2. 6 Zona Wilayah Pelayanan PDAM Tirta Daroy .....	23
Tabel 2. 7 Interpretasi Nilai r .....	25
Tabel 3. 1 Jumlah dan Frekuensi Pengambilan Sampel Air Minum.....	30
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Konsentrasi Klor.....	39
Tabel 4. 2 kecepatan aliran pada pipa di masing masing titik sampling.....	43
Tabel 4. 3 Kecepatan Aliran Pipa dibawah Standar baku Mutu .....	44
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Penurunan Klor Dengan <i>Software EPANET 2.2</i> .....	45
Tabel 4. 5 Nilai RMSE Sisa Klor dengan Perhitungan Manual.....	50
Tabel 4. 6 Hasil Uji <i>Normalitas</i> .....	51
Tabel 4. 7 Nilai Korelasi Setiap Parameter Terhadap Penurunan Klor .....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Zona reaksi dalam pipa .....	16
Gambar 2. 2 Alur Pengolahan Air PDAM Tirta Daroy .....	22
Gambar 2. 3 Peta wilayah pelayanan PDAM Tirta Daroy .....	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian .....	28
Gambar 3. 3 Lokasi Pengambilan Sampel Air .....	32
Gambar 4. 1 Diagram Perbandingan sisa Klor hasil penelitian dan standar minimal Permenkes No. 492 tahun 2010 .....	40
Gambar 4. 2 kecepatan aliran pada pipa distribus.....	42
Gambar 4. 3 Diagram Kecepatan aliran pipa pada setiap lokasi pengambilan sampel .....	43
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Sebaran Klor Pada Jaringan Distribusi .....	48
Gambar 4. 6 Diagram Sisa Klor Hasil Observasi dengan <i>EPANET 2.2</i> .....	49
Gambar 4. 7 Nilai RMSE Sisa Klor <i>Software EPANET 2.2</i> .....	50
Gambar 4. 8 Diagram hasil pengukuran suhu .....	52
Gambar 4. 9 Diagram hasil pengukuran pH.....	53
Gambar 4. 10 Diagram Konsentrasi sisa klor terhadap jarak.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data Dokumentasi Penelitian.....	63
LAMPIRAN 2 Data Hasil Uji Statistik.....	70
LAMPIRAN 3 Data Hasil Simulasi <i>EPANET 2.2</i> .....	71
LAMPIRAN 4 Data Perhitungan .....	76
LAMPIRAN 5 Laporan Hasil Pengujian Klor.....	78
LAMPIRAN 6 Izin Penelitian.....	80



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Instalasi Pengolahan Air (IPA) merupakan salah satu infrastruktur yang memiliki peran penting dalam menyediakan pasokan air untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Infrastruktur yang berperan dalam hal ini di kota Banda Aceh yaitu Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy melayani sembilan kecamatan yang ada di kota Banda Aceh dan terbagi atas empat zona pelayanan. Zona 1 yaitu wilayah pelayanan cabang Syiah Kuala yang terdiri dari 2 kecamatan yaitu kecamatan Syiah Kuala dan kecamatan kuta alam, terdiri dari 13 desa yang memiliki jumlah pelanggan 11.296 SR (Sambungan Rumah) (PDAM Tirta Daroy, 2021). Zona 2 merupakan wilayah pelayanan cabang Teuku nyak Arief yang terdiri dari 3 kecamatan yaitu sebagian wilayah kecamatan Syiah kuala, kecamatan *Ulee Kareng* dan sebagian kecil wilayah kecamatan kuta alam yang terdiri dari 20 desa, jumlah pelanggan 9837 SR (Sambungan Rumah). Zona 3 merupakan wilayah pelayanan cabang Teuku Umar yang terdiri dari 4 kecamatan yaitu kecamatan Leung Bata, kecamatan Banda Raya, kecamatan Baiturrahman dan kecamatan jaya baru, terdapat 30 desa, 3 asrama polisi, dan 5 asrama TNI, jumlah pelanggan yaitu 11.867 SR (Sambungan Rumah), zona ini merupakan zona dengan jumlah pelanggan yang paling banyak dari pada zona yang lainnya, dan yang terakhir yaitu zona 4 yakni wilayah pelayanan cabang Teuku Iskandar muda yang terdiri dari 4 kecamatan yaitu kecamatan Meuraxa, sebagian kecamatan jaya baru, sebagian kecamatan kuta raja serta sebagian kecil kecamatan Baiturrahman, terdapat 34 desa, 2 asrama polisi dan 1 perumahan TNI, memiliki jumlah pelanggan sebanyak 10.810 SR (Sambungan Rumah) (PDAM Tirta Daroy, 2019)

Dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan air di kota Banda Aceh, ada beberapa tahapan pengolahan yang dilakukan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy dalam mengolah air baku sampai menjadi air minum sebelum didistribusikan ke masyarakat, adapun proses pengolahan air yang digunakan yaitu pra-sedimentasi, koagulasi, filtrasi, sedimentasi, *flokulasi* dan disinfeksi. Penyediaan air dinilai dari segi kualitas, kuantitas dan kontinuitas air tersebut, semakin maju pertumbuhan dan tingkat hidup penduduk berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan air, sedangkan peningkatan kualitas air dipengaruhi oleh pengelolaan dan pengolahan air. Air yang layak minum Menurut Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 429/MENKES/IV/2010 Tentang persyaratan kualitas air minum, pasal 1 ayat (1) menyatakan bahwa: “Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan langsung di minum”. Berdasarkan peraturan ini yang mengharuskan dilakukannya pengolahan air di daerah yang kualitas airnya belum memenuhi syarat berdasarkan peraturan tersebut. Namun terjadi penurunan kualitas air pada proses pendistribusiannya kepada masyarakat, salah satu faktor yang mempengaruhi penurunannya yaitu penggunaan pompa oleh masyarakat yang menyebabkan masuknya partikel diskrit yang ada di sekitar pipa yang tersambung ke pipa distribusi apabila terjadi kebocoran, hal ini dilakukan oleh pelanggan dikarenakan kurangnya tekanan air yang ada di rumah mereka sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menampung air.

Proses pengolahan air baku menjadi air minum melalui tahapan-tahapan yang panjang sebelum di distribusikan ke masyarakat, salah satunya yaitu tahap disinfeksi. Disinfeksi merupakan tahapan pengolahan untuk menghilangkan bakteri patogen dalam air. Disinfektan yang sering digunakan yaitu senyawa klor untuk mengeliminasi mikroorganisme dalam air. Pada prosesnya klorinasi akan menghasilkan klor terikat dan klor bebas, klor terikat terbentuk akibat penambahan klor pada air yang kemudian membentuk senyawa *kloramine*, sedangkan klor bebas akan terbentuk pada air yang bebas senyawa organik yang menghasilkan asam *Hipoklorus (HOCL)* dan ion *Hipoklorit (OCL)* yang berfungsi pada proses disinfeksi

(Asmadi dkk, 2011). Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 429/MENKES/IV/2010, keberadaan senyawa klor bebas dalam distribusi jaringan yang diperbolehkan adalah 0,2 – 0,5 mg/L. hal ini perlu diperhatikan sebab apabila keberadaan sisa klor bebas di dalam jaringan distribusi kurang dari 0,2 mg/L maka ada kemungkinan yang menyebabkan berkurangnya kemampuan disinfektan sehingga jumlah patogen dapat meningkat, sedangkan jika sisa klor bebas yang ada di dalam jaringan lebih dari 0,5 mg/L maka air akan bersifat karsinogenik dan toksik terhadap pelanggan yang mengonsumsi air tersebut. Pada praktiknya di lapangan masih ditemukan konsentrasi klor di bawah baku mutu ( $<0,2$  mg/L) (Sofia, 2010).

Dalam upaya melakukan pemantauan dan upaya mempertahankan kualitas air minum pada sistem distribusi dengan menggunakan sisa klor, maka diperlukan simulasi untuk mengetahui sisa klor yang terdapat pada jaringan distribusi. Untuk mengetahui sisa klor bebas pada jaringan distribusi, salah satu cara yang dipakai yaitu dengan menggunakan *software EPANET 2.2*. *Software EPANET 2.2* dapat menganalisis secara keseluruhan faktor yang mempengaruhi penurunan sisa klor dan menampilkan konsentrasi sisa klor pada pipa dengan indikasi warna (Hassan, 2014).

Menurut Winaja (1986) dalam proses disinfeksi salah satu hal yang harus dipertimbangkan adalah jumlah konsentrasi disinfektan selama proses distribusi hingga sampai ke konsumen. Pada proses pendistribusiannya terjadi penurunan jumlah disinfektan yang terdapat dalam air, hal ini terjadi karena adanya proses absorpsi zat disinfektan oleh mikroorganisme, reduksi oleh logam-logam yang terdapat dalam air, serta terjadinya penguapan gas klor di sepanjang jaringan distribusi. Pemeriksaan konsentrasi klor bebas dalam jaringan distribusi penting untuk dilakukan untuk mengetahui konsentrasi klor bebas yang tersisa pada jaringan distribusi, apakah jumlah klor bebas yang ada telah memenuhi standar Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 sehingga tidak berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat yang mengonsumsi air tersebut, dan dengan melakukan analisa terhadap klor bebas pada jaringan distribusi PDAM juga akan dapat diketahui jumlah klor bebas yang hilang selama pendistribusian air. Berdasarkan apa yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka peneliti tertarik

mengangkat topik penelitian *Analisis Konsentrasi Klor Bebas Dalam Jaringan Distribusi Air Bersih Pada Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas maka permasalahan utama yang akan di kaji pada penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana sisa konsentrasi klor bebas pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh?
2. Bagaimana sebaran konsentrasi klor bebas pada jaringan distribusi zona 1 di PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh?
3. Bagaimana hubungan antara suhu, pH dan jarak terhadap penurunan sisa konsentrasi klor bebas pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang ingin diketahui yaitu:

1. Mengetahui konsentrasi klor bebas di jaringan distribusi pada zona 1 di PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh.
2. Membuat simulasi pola sebaran konsentrasi klor bebas di jaringan distribusi pada zona 1 di PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh.
3. Mengetahui ada tidaknya hubungan antara suhu, pH dan jarak terhadap penurunan sisa konsentrasi klor bebas pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yakni sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui bagaimana sisa konsentrasi klor bebas dalam jaringan distribusi air bersih pada wilayah zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh.

2. Dapat mengetahui bagaimana pola sebaran konsentrasi sisa klor bebas pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy menggunakan *Software EPANET* 2.2.

### 1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian dilakukan pada zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh.
2. Penelitian ini terbatas pada pemantauan kualitas air dalam jaringan distribusi tanpa analisis letak kebocoran.
3. Indikator yang digunakan yaitu klor, suhu, pH dan jarak pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Persyaratan Kualitas Air Minum**

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 Pasal 1 ayat (1) menyebutkan bahwa “air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum”. Sedangkan menurut Sedangkan, menurut Sutrisno (1991) air minum merupakan salah satu kebutuhan paling esensial pada hidup manusia, sehingga kita harus memenuhinya dalam jumlah dan kualitas yang memadai. Ada Beberapa Jenis air minum yaitu air yang didistribusikan melalui jaringan perpipaan untuk keperluan rumah tangga, air yang didistribusikan melalui tangki air, air Minum Dalam Kemasan (AMDK), dan air yang digunakan untuk produksi makanan dan minuman yang disajikan kepada masyarakat. (Permenkes No. 907 Tahun 2002)

Menurut PERMEN PU No.27 Tahun 2016 Penyediaan air minum adalah kegiatan menyediakan air minum untuk memenuhi kebutuhan masyarakat agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif. Kualitas air minum sering dianggap sebagai salah satu permasalahan yang penting, karena diperlukan kualitas yang baik untuk memastikan kesehatan dan keselamatan masyarakat. Kualitas air yang buruk menunjukkan bahwa air tersebut tidak layak konsumsi karena akan menimbulkan efek samping negatif bagi kesehatan manusia. Kualitas air minum yang baik harus bebas dari kandungan senyawa yang dapat menyebabkan perubahan kualitas, warna, rasa, bau dan patogen (Badriyah, 2016). Menurut Hermanto dkk (2007) untuk mengetahui kualitas air minum melalui pemantauan kualitas parameter yang meliputi warna, kekeruhan, PH, kandungan logam, dan lain lain. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, persyaratan tentang kualitas air minum dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter Langsung Yang Berhubungan 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) Flourida	Mg/L	1,5
	3) Total kromium	Mg/L	0,05
	4) Cadmium	Mg/L	0,003
	5) Nitrit (sebagai NO <sub>2</sub> )	Mg/L	3
	6) Nitrat (sebagai NO <sub>3</sub> )	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 berasa
	6) Suhu	0C	Suhu udara ± 3
	b. Parameter kimia		
	1) Aluminium	Mg/L	0,2
	2) Besi	Mg/L	0,3
	3) Kepadatan	Mg/L	500
	4) Khlorida	Mg/L	250
	5) Mangan	Mg/L	0,4
	6) pH	Mg/L	6,5-8,5
7) Sulfat	Mg/L	250	
8) Tembaga	Mg/L	2	
9) Seng	Mg/L	3	
10) Ammonia	Mg/L	1,5	

Sumber: PERMENKES No. 492/MENKES/PER/IV/2010, persyaratan tentang kualitas air minum

## 2.2 Persyaratan Kuantitas Air Minum

Menurut Kodotie dan Sjarief (2005) air merupakan kebutuhan esensial dalam kehidupan manusia untuk menunjang segala aktivitas manusia. Diperlukan jumlah atau kuantitas yang memadai untuk bisa didistribusikan. Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air minum dapat ditinjau dari banyaknya air baku yang telah tersedia, artinya air baku tersebut dapat di gunakan untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas dapat dilihat dari standar jumlah debit air yang dialirkan ke pelanggan sesuai dengan jumlah kebutuhan air (Agustina, 2007). Kebutuhan air bervariasi tergantung pada letak geografis, gaya hidup, tingkat ekonomi, dan skala perkotaan tempat tinggalnya. Besarnya konsumsi air berdasarkan kategori kota disajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Kategori Kebutuhan Air per Wilayah

Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (jiwa)				
	>1.000.000	500.000 s.d 1000.000	100.000 s.d 500.000	20.000 s.d 100.000	<20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
Konsumsi unit sambungan rumah (SR) (liter/orang/hari)	>150	150 - 120	90 - 120	80 - 120	60 - 80
Konsumsi unit hidran (HU) (liter/orang/hari)	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40
Konsumsi unit non domestik					
a. Niaga kecil (liter/unit/hari)	600 - 900	601-900		600	
b. Niaga besar (liter/unit/hari)	1000 - 5000	1000 - 5000		1500	
c. Industri besar (liter/detik/ha)	0,2 - 0,8	0,2 – 0,8		0,2 – 0,8	
d. Pariwisata (liter/detik/ha)	0,1 - 0,3	0,1 – 0,3		0,1 – 0,3	

Kehilangan air (%) factor hari maksimum	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
Factor jam puncak	1,15 – 1,25	1,15 – 1,25	1,15 – 1,25	1,15 – 1,25	1,15 – 1,25
Jumlah jiwa per SR (jiwa)	5	5	5	5	5
Jumlah jiwa per HU (jiwa)	100	100	100	100 – 200	200
Sisa tekanan di penyediaan distribusi (meter)	10	10	10	10	10
Jam operasional (jam)	24	24	24	24	24
Volume reservoir (% max day demand)	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20:00	70:30:00	70:30:00
Cakupan pelayanan	90	90	90	90	70

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1997

### 2.3 Unit dan Sistem 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. Menurut Permen PU No 18 Tahun 2007, Air yang dihasilkan dari Instalasi Pengolahan Air (IPA) ditampung dalam reservoir air yang berfungsi untuk menjaga kesetimbangan antara produksi dengan kebutuhan, sebagai kebutuhan penyimpanan air dalam kondisi darurat, dan sebagai penyedia kebutuhan air keperluan instalasi. Reservoir air dibangun dalam bentuk reservoir tanah yang umumnya untuk menampung produksi air dari sistem IPA, atau dalam bentuk menara air yang umumnya untuk mengantisipasi kebutuhan puncak di daerah distribusi.

Unit distribusi dapat berupa jaringan perpipaan yang terkoneksi satu dengan yang lain membentuk jaringan tertutup (*loop*), sistem jaringan distribusi bercabang (*dead-end distribution system*), atau kombinasi dari kedua sistem tersebut (*grade*

*system*). Bentuk jaringan pipa distribusi ditentukan oleh kondisi topografi, lokasi reservoir, luas wilayah pelayanan, jumlah pelanggan dan jaringan jalan di mana pipa akan dipasang.

Menurut (Damanhuri, 1989) sistem distribusi merupakan sistem yang berhubungan secara langsung dengan pelanggan yang mempunyai tugas mendistribusikan air yang sudah memenuhi kriteria secara keseluruhan untuk disalurkan pada daerah pelayanan yang dilayani. Sistem ini mencakup beberapa unsur – unsur lainnya seperti sistem perpipaan dan unit pelengkapannya, hidran kebakaran, sistem pemompaan (bila dibutuhkan), tekanan tersedia, dan reservoir distribusi. Menurut AL-Layla (1977) sistem distribusi air bersih dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: cara gravitasi, pemompaan, ataupun kombinasi dari kedua cara tersebut, berikut pemaparan dari tiap – tiap sistem pengaliran distribusi air minum:

- a. Cara Gravitasi. Cara ini dapat digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan cukup besar dengan elevasi pelayanan sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan.
- b. Cara Pemompaan. Untuk cara ini pompa yang digunakan untuk meningkatkan tekanan air yang dibutuhkan pada proses pendistribusian air dari reservoir hingga ke konsumen.
- c. Cara Gabungan. Untuk cara gabungan, reservoir difungsikan untuk meningkatkan tekanan yang dibutuhkan selama periode penggunaan yang tinggi dan pada kondisi darurat, contohnya pada saat terjadi kebakaran, atau tidak tersedianya energi. Oleh karena penggunaan reservoir sebagai cadangan air selama periode konsumsi air yang tinggi atau penggunaan puncak, maka pompa dapat dioperasikan saat kapasitas debit rata rata.

#### **2.4 Komponen Jaringan Distribusi Air Minum**

Jaringan pipa distribusi harus terdiri dari beberapa komponen untuk memudahkan pengendalian kehilangan air

- a. Zona distribusi suatu sistem penyediaan air minum adalah suatu area pelayanan dalam wilayah pelayanan air minum yang dibatasi oleh pipa jaringan distribusi

utama (*distribusi primer*). Pembentukan zona distribusi didasarkan pada batas alam (sungai, lembah, atau perbukitan) atau perbedaan tinggi yang lebih besar dari 40 meter antara zona pelayanan di mana masyarakat terkonsentrasi atau batas administrasi. Pembentukan zona distribusi dimaksudkan untuk memastikan dan menjaga tekanan minimum yang relatif sama pada setiap zona. Setiap zona distribusi dalam sebuah wilayah pelayanan yang terdiri dari beberapa sel utama (biasanya 5-6 sel utama) dilengkapi dengan sebuah meter induk.

- b. Jaringan Distribusi Utama (JDU) atau distribusi primer yaitu rangkaian pipa distribusi yang membentuk zona distribusi dalam suatu wilayah pelayanan.
- c. Jaringan distribusi pembawa atau distribusi sekunder adalah jalur pipa yang menghubungkan antara JDU dengan sel utama.
- d. Jaringan distribusi pembagi atau distribusi tersier adalah rangkaian pipa yang membentuk jaringan tertutup sela utama.
- e. Pipa pelayanan adalah pipa yang menghubungkan antara jaringan distribusi pembagi dengan sambungan rumah. Pendistribusian air minum dari pipa pelayanan dilakukan melalui *Clamp Saddle*.
- f. Sel utama (*Primery Cell*) adalah suatu area pelayanan dalam sebuah zona distribusi dan dibatasi oleh jaringan distribusi pembagi (distribusi tersier) yang membentuk suatu jaringan tertutup. Setiap utama akan membentuk beberapa sel dasar dengan jumlah sekitar 5-10 sel dasar. Sel utama biasanya dibentuk bila jumlah sambungan rumah (*SR*) sekitar 10.000 SR.
- g. Sel dasar (*Elementary Zone*) adalah suatu area pelayanan dalam sebuah sel utama dan dibatasi oleh pipa pelayanan. Sel dasar adalah rangkaian pipa yang membentuk jaringan tertutup dan biasanya dibentuk bila jumlah sambungan rumah mencapai 1.000-2.000 SR. setiap sel dasar dalam sebuah sel utama dilengkapi dengan sebuah Meter Distrik.

## 2.5 Jenis - Jenis Pipa

Menurut Anthony (2012) salah satu cara transportasi untuk menyalurkan material dari suatu tempat ke tempat yang lain yaitu dengan menggunakan aliran

dalam pipa, hal ini erat kaitannya dengan jenis pipa dan karakteristik pipa yang bermacam-macam. Banyaknya jenis ukuran, penggunaan jenis material, ketahanan, serta kekasaran pada bagian permukaan dalam pipa merupakan faktor penting pada penggunaan yang bersifat komersial dalam sistem perpipaan.

Dalam infrastruktur, penggunaan suatu jenis dan karakteristik pipa digunakan sebagai standar yang digunakan berdasarkan jenis kebutuhan. Menurut Hazen - Williams, karakteristik dan jenis pipa dapat dilihat pada Tabel 2.3

Jenis Pipa	Nilai C Perencanaan
<i>Asbes cement</i> (ACP)	120
U-PVC	120
<i>Ductile</i> (DCIP)	110
Besi Tuang (CIP)	110
GIP	110
Baja	110
<i>Pre-stress Concrete</i> (PSC)	110
PE	130

Tabel 2. 3 Nilai koefisien Hazen-William setiap jenis pipa

Sumber: SNI 7509:2011 tata cara teknik jaringan distribusi dan unit pelayanan sistem penyediaan air minum.

## 2.6 Disinfeksi

Desinfeksi adalah proses penambahan zat kimia yang bertujuan untuk membunuh bakteri-bakteri patogen yang terkandung dalam air. Desinfeksi dalam pengolahan air minum dilakukan untuk melindungi pemakai air dari bahaya mikroorganisme yang terkandung dalam air. Metode desinfeksi yang digunakan dalam proses pengolahan air minum biasanya yaitu secara kimiawi dan radiasi. (Masduqi, 2012). Untuk menghilangkan mikroorganisme patogen dari instalasi pengolahan ataupun yang masuk ke dalam sistem jaringan distribusi dilakukan proses yang disebut disinfeksi.

Menurut Said (2018) adapun faktor yang mempengaruhi proses disinfeksi, yaitu:

- a. Jenis disinfektan. Untuk menentukan koefisien pemusnahan spesifik ditentukan berdasarkan fungsi dari jenis disinfektan yang dipilih
- b. Konsentrasi disinfektan. Semakin besar laju reaksi berbanding lurus dengan besar konsentrasi disinfektan yang digunakan.
- c. Waktu kontak. Waktu yang dibutuhkan disinfektan untuk menghilangkan mikroorganisme.
- d. Jenis mikroorganisme. Jenis dan jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam air tersebut dapat mempengaruhi jenis dan tingkat konsentrasi disinfektan yang diperlukan.
- e. Temperatur. Laju pendegradasian mikroorganisme berbanding lurus dengan temperatur.
- f. Pengaruh pH. pH dan klor berpengaruh dalam mengontrol jumlah *HOCL* dan *OCL* dalam larutan pada proses disinfeksi.

Menurut Sofia (2010) disinfektan yang sering digunakan adalah senyawa klor. Pada proses klorinasi air menyebabkan terbentuknya residu klor. Terdapat 2 bentuk residu klor yaitu residu klor terikat dan residu klor bebas. Ada beberapa jenis bahan yang bisa digunakan dalam proses disinfeksi salah satunya yang paling sering digunakan yaitu senyawa klor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Jenis dan Sifat Bahan Disinfeksi

No	Jenis disinfektan	Rumus Kimia	% Klor	Bentuk	Kandungan SS
1	<i>Liquid Chlorine</i>	Cl <sub>2</sub>	100	Gas	Tidak Ada
2	Sodium	NaOCl	3-5	Padat	Tidak Ada
3	<i>Hypochlorite</i>	Ca (OCl) <sub>2</sub>	65-70	Padat	Ada
4	<i>Calcium</i>	CaOCl <sub>2</sub>	25-37	Padat	Ada

5	Hypochlorite Chloride of Lime Chloride Dioksida	ClO <sub>2</sub>	263	Bubuk	Tidak Ada
---	---	------------------	-----	-------	-----------

Sumber: Ali, 2010

Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan pada proses disinfeksi dalam pengolahan air yakni:

- a. Kebutuhan klor untuk disinfeksi. Banyaknya klor yang diperlukan agar dapat mencapai *break point* klorinasi, banyaknya jumlah klor yang diperlukan tergantung pada kualitas pasokan air baku yang tersedia. Hal ini terjadi karena kualitas air yang berfluktuasi dari waktu ke waktu sehingga kadar klor yang diperlukan juga berbeda-beda dari waktu ke waktu.
- b. Konsentrasi maksimum dalam proses disinfeksi. Kemampuan klor sebagai bahan disinfeksi pada proses oksidasi memiliki batasan konsentrasi yang aman untuk tubuh manusia, oleh sebab itu apabila pembubuhan dosis klor berlebih dapat berpengaruh terhadap bau, rasa dan juga kesehatan. Beberapa hal yang disebabkan akibat penggunaan klor dengan berbagai tingkat konsentrasinya dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Pengaruh Klor Bebas Pada Beberapa Tingkat Konsentrasi

No	Konsentrasi Klor Bebas	Efek yang ditimbulkan
1	3,5 ppm	Menimbulkan bau
2	15 ppm	Iritasi pada mata
3	30 ppm	Menimbulkan batuk
4	60 ppm	Membahayakan

Sumber: Ali, 2010

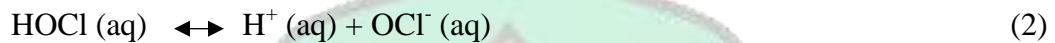
Metode pengolahan air yang digunakan untuk menghilangkan kuman dan mengoksidasi bahan-bahan yang bersifat kimiawi di dalam air salah satunya adalah klorinasi. Klorinasi merupakan sebuah proses memasukkan klorin ke dalam air

yang telah melalui tahapan proses filtrasi dan juga merupakan yang lebih maju pada proses penjernihan (*purification*) air. Ketika klor dimasukkan ke dalam air akan menghasilkan Asam Hipoklorit (HOCl) yang menghasilkan reaksi sebagai berikut:



$$K_{\text{eq}} = 4 \times 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]}{[\text{Cl}_2]}$$

HOCl adalah asam lemah dengan reaksi sebagai berikut:



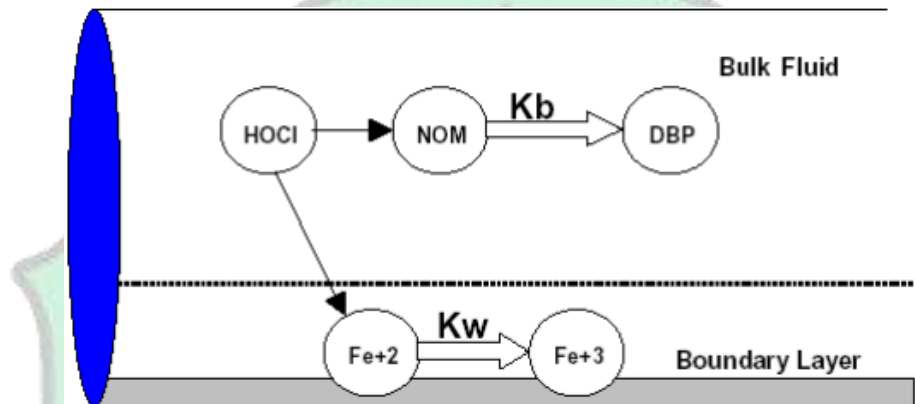
$$K_{\text{eq}} = 2.7 \times 10^{-8} = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]}$$



Pada reaksi yang pertama (1) reaksi antara gas klor dengan air yang menyebabkan penurunan pH air dikarenakan reaksi ini menghasilkan ion  $\text{H}^+$ , pada reaksi yang ketiga (3) reaksi yang terjadi adalah reaksi yang timbul antara kaporit dengan air, yang menyebabkan kenaikan pH air karena pada reaksi ini menghasilkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang bersifat basa. HOCl dan  $\text{OCl}^-$  keduanya disebut klor aktif atau disebut juga klor bebas, HOCl adalah disinfektan yang paling efektif jika dibandingkan dengan  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  adalah klor yang tidak aktif. Sisa klor yang aktif dan bersifat toksik bagi bakteri patogen, efektivitas HOCl untuk mendegradasi *coliform* lebih kurang 80-10 kali lebih kuat jika dibandingkan dengan  $\text{OCl}^-$ , pH dan suhu sangat berpengaruh pada keefektivasannya. Disinfektan dari HOCl akan mengikat pada pH yang relatif rendah yaitu kurang dari 7,5, pada pH 6,7 pada umumnya klorin akan membentuk senyawa asam hipoklorit (HOCL).

Menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh (Syahputra, 2012) dan (Arsyadin, 2012) tingkat penurunan konsentrasi klor bebas berkurang selama perjalanan air sampai ke konsumen, ini disebabkan selama perjalanan klor aktif kontak dengan mikroorganisme penyebab kontaminasi pada air, jaringan pipa yang tidak efisien karena terjadi kebocoran, dan jarak antara reservoir dan konsumen yang jauh. Pengurangan konsentrasi klor bebas selama waktu pengaliran dalam jaringan pipa distribusi disebabkan oleh dua reaksi, yakni:

- a. *Bulk Reaction*. Merupakan pengurangan konsentrasi klorin bebas akibat dari klorin bebas yang bereaksi dengan komponen-komponen yang terlarut dalam air, komponen-komponen tersebut dapat berupa organik ataupun mikroorganisme yang terdapat di dalam pipa.
- b. *Pipe Wall Reaction*. Yaitu berkurangnya sisa konsentrasi klorin bebas akibat bereaksi dengan dinding pipa. Reaksi ini terjadi dikarenakan terdapat lapisan biologis/biofilm padat yang terjadi karena pipa mengalami korosi.



Gambar 2. 1 Zona reaksi dalam pipa

Sumber : (Rossman, L.A., 2000)

## 2.7 EPANET 2.2

Menurut Rossman (1993) EPANET merupakan sebuah program pemodelan *hydraulic* dan kualitas air yang dibuat oleh *U.S Environmental Protection Agency*. Rossman memperkenalkan penggunaan model *hydraulic* bersamaan dengan persamaan model kualitas air dan implementasinya lewat komputer. EPANET dapat memodelkan penyebaran antara konservatif dan zat reaktif (klorin bebas). Koefisien peluruhan klorin ( $K$ ) untuk orde pertama bergantung pada kebutuhan air curah ( $k_b$ ) dan bentuk permukaan ( $k_w$ ), sehingga diperoleh:

$$k = k_b + \frac{k_w \cdot k_f}{R_h(k_w + k_f)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:  $k_f$  = koefisien perpindahan massa antara aliran dan dinding pipa.

Rh = radius *Hydraulic*.

Koefisien perpindahan massa kf bergantung pada beberapa hal yang terdapat pada aliran. Model dinamik klorin sebagai berikut,

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} = -\frac{f}{A} \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} - k(x,t)$$

.....(5)

Dimana: c = konsentrasi klorin  
t = waktu  
x = jarak *axial*  
f = aliran  
A = luas

Kemudian didapatkan solusinya adalah sebagai berikut,

$$c(x_2, t_2) = c(x_1, t_1) x e^{-k(t_2-t_1)}$$

.....(6)

Dengan,

$$x_2-x_1 = v \times (t_1 - t_2)$$

.....(7)

Dimana: t1 dan t2 = waktu  
x1 dan x2 = merepresentasikan jarak *upstream* dan *downstream* sepanjang pipa

$$v = \frac{f}{A} = \text{konstanta kecepatan air dalam pipa.}$$

Model yang diperoleh dengan menggunakan metode dinamika berkaitan dengan pemodelan pada proses peluruhan klorin dimana faktor biofilm juga diikuti,

$$\frac{\partial t}{\partial c} = 0 \dots\dots\dots(8)$$

Dimana  $c$  = konsentrasi klorin.

### 2.7.1 Fungsi Software EPANET 2.2

Kegunaan *software EPANET 2.2* dalam analisis sistem jaringan distribusi air bersih antara lain:

1. Didesain sebagai alat untuk mengetahui perkembangan serta pergerakan air tanpa mesti terjun lapangan (simulasi) dan juga degradasi faktor kimia yang terdapat dalam air pipa distribusi.
2. Bisa digunakan sebagai dasar analisis serta bermacam ragam sistem distribusi, detail desain, model kalibrasi hidrolis, analisa sisa klor serta bermacam faktor yang lain.
3. Bisa membantu memastikan alternatif strategis manajemen dalam sistem jaringan pipa distribusi air bersih seperti:
  - a) Memutuskan alternatif sumber/ instalasi, apabila ada banyak sumber/ instalasi.
  - b) Selaku simulasi dalam memastikan alternatif pengoperasian pompa dalam mengaplikasikan pengisian reservoir ataupun injeksi ke sistem distribusi.
  - c) Digunakan untuk pusat *treatment* seperti di mana dilakukan proses klorinasi, baik diinstalasi ataupun dalam sistem jaringan.
  - d) Bisa digunakan untuk memutuskan prioritas terhadap pipa yang hendak dibersihkan/ ditukar. *EPANET 2.2* ialah analisis *hidrolis* yang terdiri dari faktor pemanfaatan sebagai berikut:
    - Analisis ini tidak dibatasi oleh letak posisi jaringan
    - Analisis ini tidak dibatasi oleh letak posisi jaringan.
    - Kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gaya gesekan

- (*friction*) dihitung dengan memakai persamaan Hazen Williams, Darcy-Weisbach ataupun Chezy- Manning.
- Disamping *major losses* serta *minor losses* (kehilangan Tekanan di *bend, elbow, fitting*) bisa dihitung.
- Model konstanta ataupun variabel kecepatan pompa.
- Perhitungan energi serta biaya pompa.
- Bermacam kategori model *valve* yang dilengkapi dengan *shut off, check, Pressure regulating* serta *valve* yang dilengkapi dengan kontrol kecepatan.
- Reservoir dalam berbagai bentuk serta ukuran
- Aspek fluktuasi konsumsi air
- Selaku dasar operasi sistem untuk mengendalikan level air di reservoir serta waktu. *EPANET 2.2* juga memberikan analisa mutu air.
- Model pergerakan komponen material non reaktif yang melalui jaringan setiap saat.
- Model transformasi material reaktif dalam proses desinfektan serta sisa klor.
- Model komponen air yang mengalir dalam jaringan.

Model reaksi kimia selaku akibat pergerakan air serta dinding pipa. *EPANET 2.2* juga memberikan analisa mutu air pada jaringan distribusi pipa sebagai berikut:

- Model pergerakan komponen material non reaktif yang melalui jaringan setiap saat.
- Model transformasi material reaktif dalam proses desinfektan serta sisa klor.
- Model komponen air yang mengalir dalam jaringan.
- Model reaksi kimia sebagai akibat pergerakan air serta dinding pipa.

### 2.7.2 Input Data Pada Software *EPANET 2.2*.

Data yang dibutuhkan *EPANET 2.2* dalam proses analisa simulasi jaringan, evaluasi dan simulasi jaringan adalah:

1. Peta jaringan.
2. *Node/junction*/titik dari komponen distribusi.
3. Elevasi
4. Panjang pipa distribusi
5. Diameter dalam pipa
6. Jenis pipa yang digunakan
7. Umur pipa
8. Jenis sumber (mata air, sumur bor, IPAM, dan lain lain)
9. Spesifikasi pompa (bila menggunakan pompa)
10. Bentuk dan ukuran reservoir.
11. Beban masing-masing *node* (besarnya *tapping*)
12. Faktor fluktuasi pemakaian air
13. Konsentrasi klor di sumber di mana *output* yang dihasilkan dalam simulasi jaringan pipa distribusi ini adalah sebagai berikut:
  - a). *Hidrolik head* masing - masing titik.
  - b). Tekanan dan kualitas air.
  - c). Kualitas konsentrasi kimia terlarut dalam air (*EPANET 2.0 Users Manual*)

## 2.8 Profil PDAM Tirta Daroy Banda Aceh

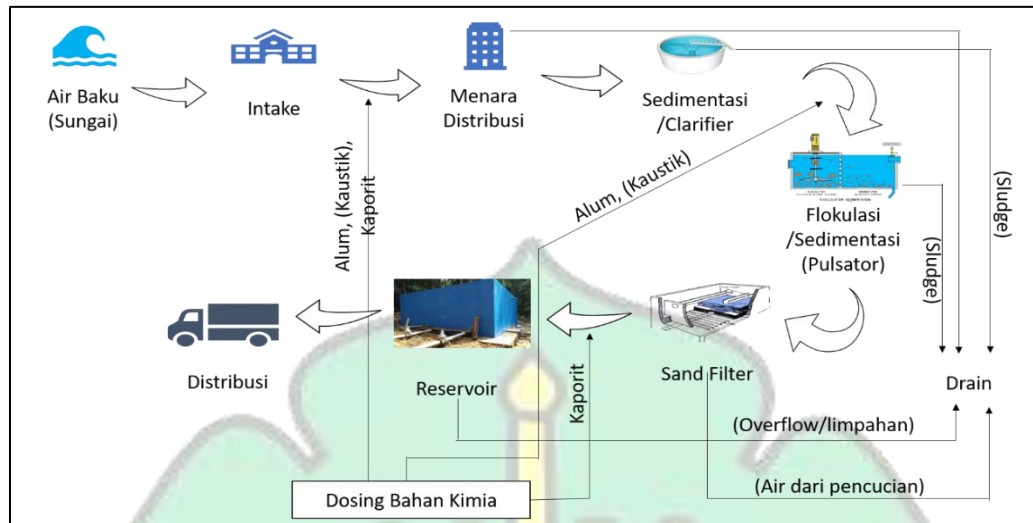
### 2.8.1 Sejarah Pembangunan PDAM Tirta Daroy Banda Aceh

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy Kota Banda Aceh ditetapkan berdasarkan perda No. 2 Tahun 1975 tanggal 24 Februari 1975. Dalam kurun waktu 43 tahun berdirinya PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh sebagai satu satunya perusahaan penyedia air untuk kebutuhan masyarakat di kota Banda Aceh. Di samping itu juga untuk memenuhi kebutuhan air bagi pelayanan publik lainnya seperti industri pariwisata, rumah sakit, perdagangan dan pasar, pesantren dan lainnya. Secara geografis Kota Banda Aceh memiliki posisi sangat strategis yang

berhadapan dengan negara-negara di selatan benua Asia dan merupakan pintu gerbang Republik Indonesia di bagian barat. Kota Banda Aceh terletak antara 050 16' 15''- 050 36' 16'' Lintang Utara dan 950 16' 15''- 950 22' 35'' Bujur Timur dengan tinggi rata-rata di atas permukaan laut 0,80 meter. Banda Aceh sebagai ibu kota provinsi Aceh mempunyai luas 61,36 KM<sup>2</sup>, berbatasan dengan selat malaka, samudera Indonesia dan kabupaten Aceh Besar. Secara administratif kota Banda Aceh terdiri dari 9 kecamatan. Sembilan kecamatan di kota Banda Aceh adalah kecamatan *Meuraxa*, Jaya Baru, Banda Raya, Baiturrahman, Lueng Bata, Kuta Alam, Kuta Raja, Syiah Kuala, dan *Ulee Kareng*.

### **2.8.2 Kondisi Eksisting IPA PDAM Tirta Daroy**

IPA PDAM Tirta Daroy Cabang *Lambaro* yang berlokasi di jalan Medan Banda Aceh, Km. 8.5, *Meunasah Krueng*, Ingin Jaya, Aceh Besar ini dibangun pada 1980. Kapasitas produksi awal sebesar 500 l/detik atau 0,5 m<sup>3</sup>/detik, namun dikarenakan pertumbuhan jumlah penduduk serta meningkatnya permintaan air sehingga produksi saat ini menjadi 740 l/detik atau 0,74 m<sup>3</sup>/detik. Sistem pengolahan air pada PDAM Tirta Daroy dikontrol menggunakan SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), yaitu sebuah sistem yang memungkinkan pengoperasian secara otomatis dari jarak jauh terhadap segala proses produksi air minum dan distribusinya. SCADA di PDAM dapat menampilkan ukuran debit, kekeruhan air, dapat mengontrol sistem pembuangan lumpur dan lain-lain. Proses pengolahan air pada IPA PDAM Tirta Daroy secara garis besar terdiri dari *intake*, menara distribusi, sedimentasi/*clarifier*, *pulsator* (*flokulasi/sedimentasi*), *sand filter*, dan reservoir, untuk lebih jelas lihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Alur Pengolahan Air PDAM Tirta Daroy

Sumber: Sumber PDAM Tirta Daroy Banda Aceh

### 2.8.3 Wilayah Pelayanan PDAM Tirta Daroy Banda Aceh

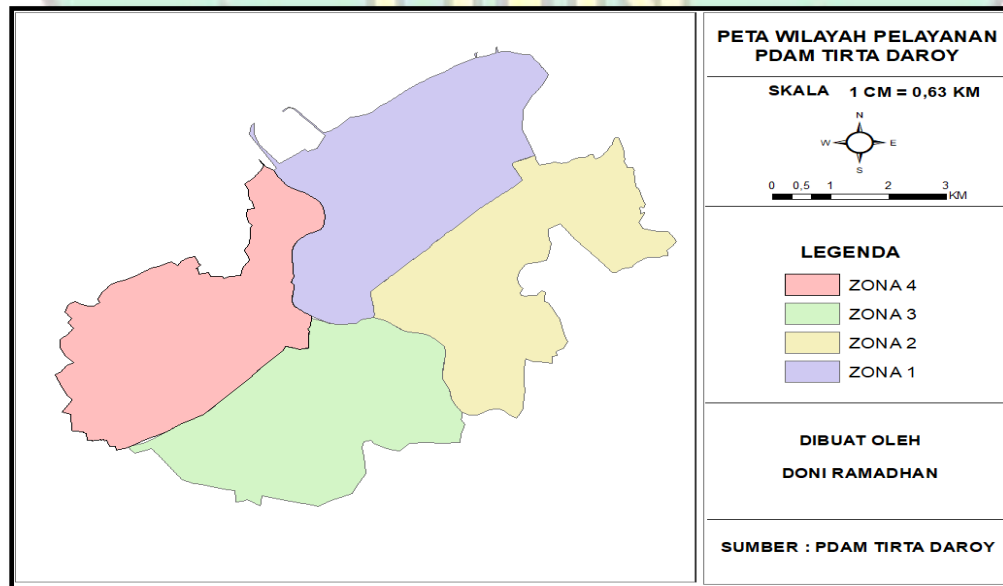
PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh memiliki beberapa wilayah pelayanan yang dibagi atas 4 zonasi untuk memudahkan dalam mendistribusikan air minum ke pelanggan. Wilayah tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6

Zona	Wilayah Pelayanan
Zona 1	Kec. Kuta Alam, dan Sebagian Wilayah Kec. Syiah Kuala
Zona 2	Kec. <i>Ulee Kareng</i> , sebagian Kec. Kuta Alam dan Sebagian Wilayah Kec. Syiah Kuala
Zona 3	Kec. Banda Raya, Kec. Leung Bata dan Kec. Baiturrahman
Zona 4	Kec. Jaya Baru, Kec. Meuraxa dan Kec. Kuta Raja

Tabel 2. 6 Zona Wilayah Pelayanan PDAM Tirta Daroy

Sumber: PDAM Tirta Daroy Banda Aceh Tahun 2021

Berikut ini peta masing-masing wilayah pelayanan PDAM Tirta Daroy Banda Aceh. Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 3 Peta wilayah pelayanan PDAM Tirta Daroy

Sumber: PDAM Tirta Daroy Banda Aceh 2021

## 2.9 Metode Uji Statistik

Menurut Harinaldi (2005) 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.

### **2.9.1 Uji Normalitas**

Tujuan dilakukannya uji *normalitas* kali ini adalah untuk menguji apakah variabel terikat dan variabel bebas mempunyai distribusi normal atau tidak. Data dikatakan terdistribusi normal jika data 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. Metode 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.

### **2.9.2 Analisis Korelasi**

Analisis korelasi bertujuan untuk mengukur "seberapa kuat" atau "derajat kedekatan" suatu relasi yang terjadi antar variabel (Harinaldi, 2005). Untuk mengetahui hubungan antar variabel, 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 2.7

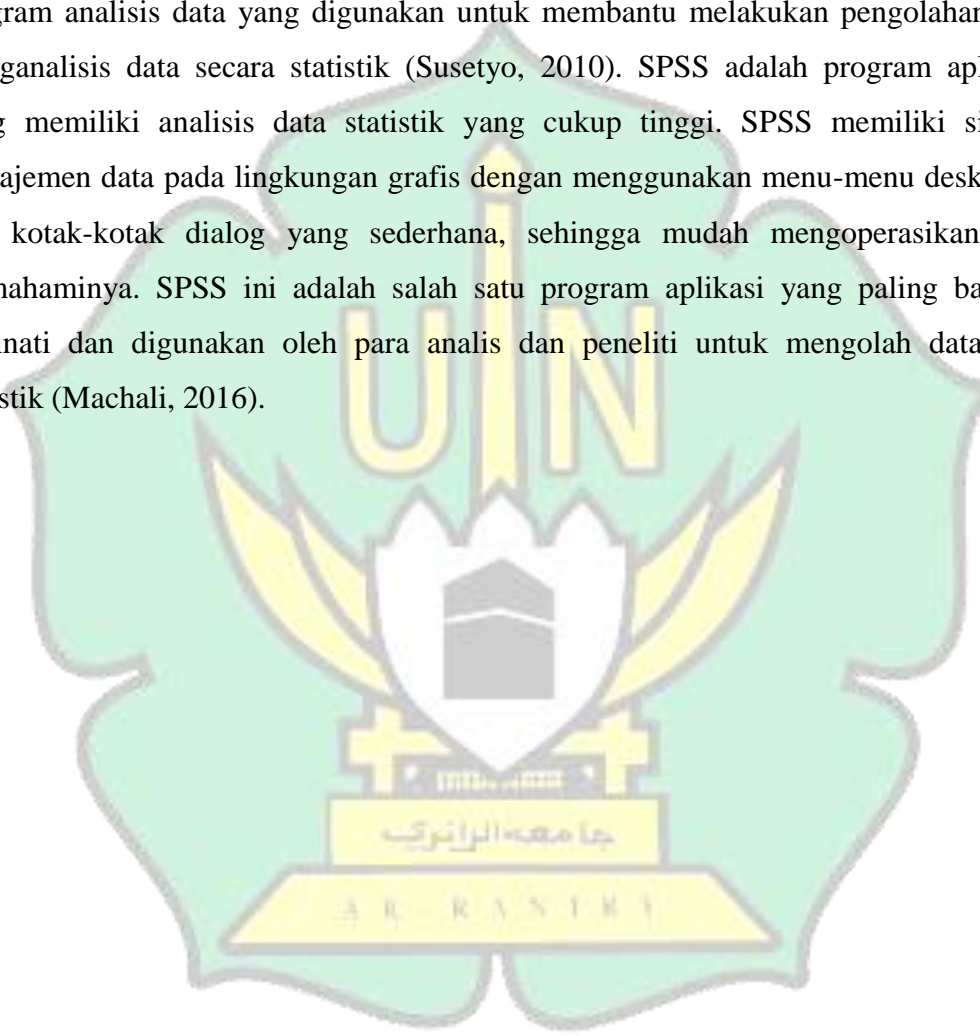
Besar nilai $r$	Interpretasi
Antara 0,800 sampai dengan 1,000	Sangat Kuat
Antara 0,600 sampai dengan 0,800	Kuat
Antara 0,400 sampai dengan 0,600	Lemah
Antara 0,200 sampai dengan 0,400	Sangat Lemah
Antara 0,000 sampai dengan 0,200	Tidak Berkorelasi

Tabel 2. 7 Interpretasi Nilai  $r$

Sumber: Sujarweni, 2014

### **2.9.3 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).

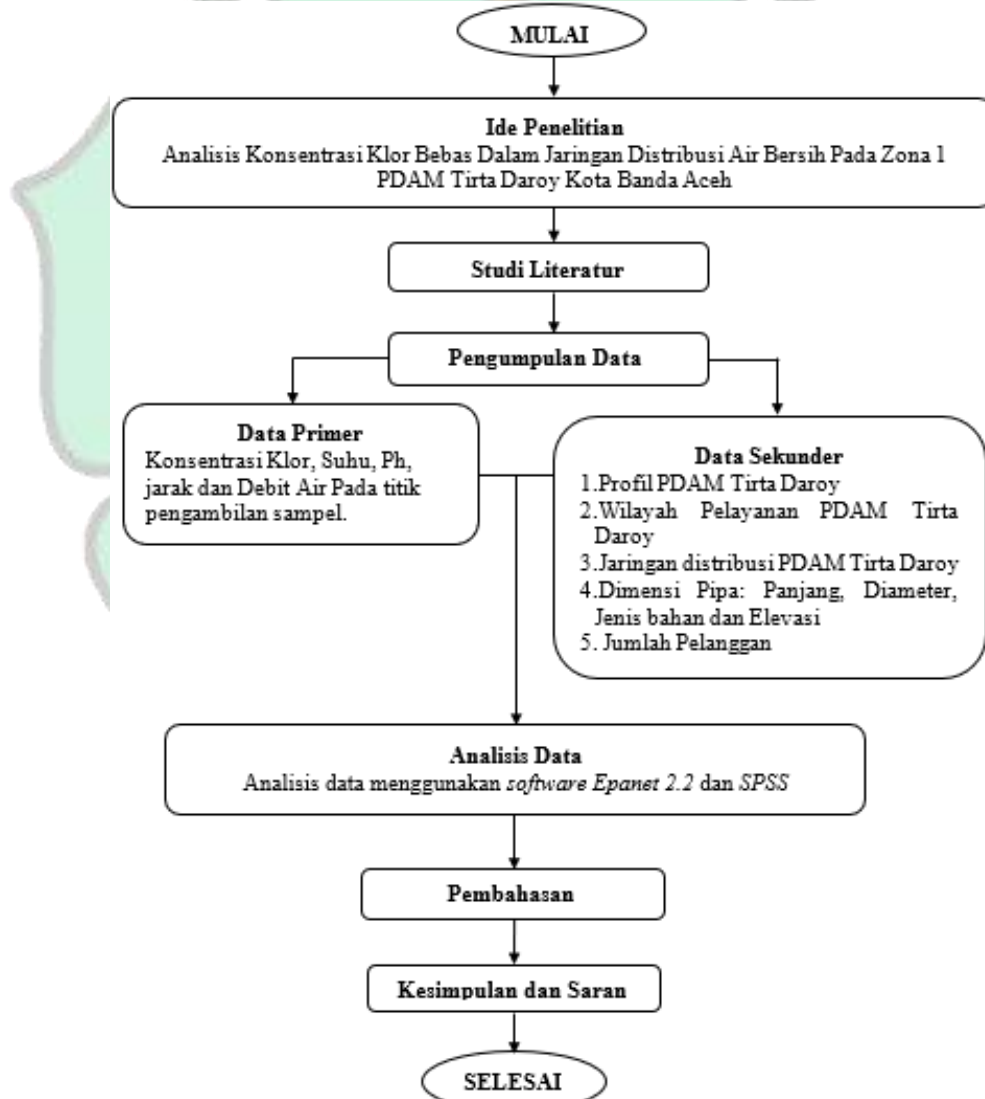


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan acuan dalam pelaksanaan penelitian. Metode penelitian ini berdasarkan pada langkah kerja dalam pengumpulan data, analisis data, hingga didapatkan hasil penelitian yang akan menjawab semua tujuan dari penelitian yang dilakukan.

#### 3.1 Bagan Alir Penelitian

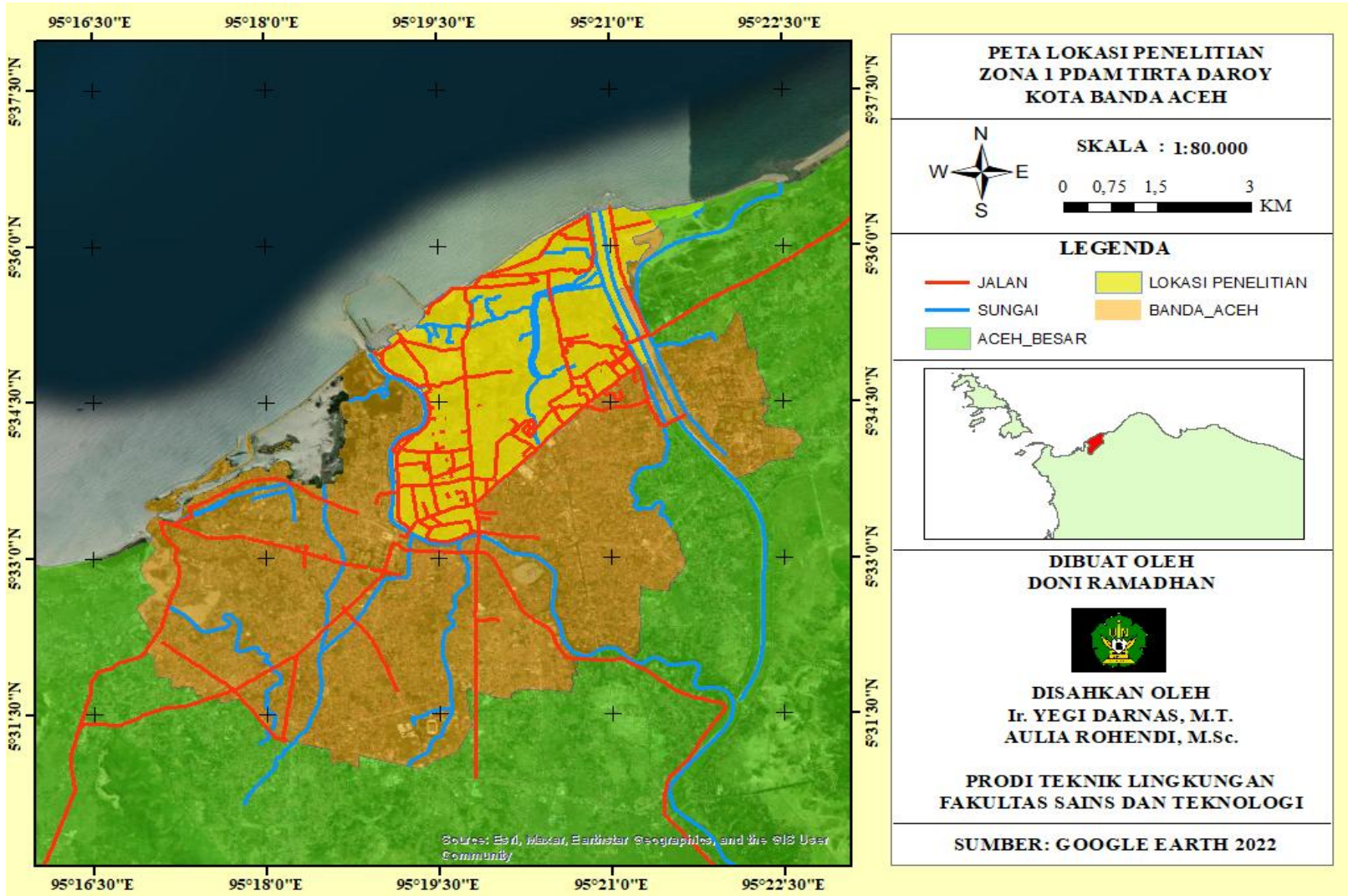


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2021. Penelitian ini bertempat di Zona 1 wilayah pelayanan PDAM Tirta Daroy. Wilayah pelayanan Zona 1 ini meliputi dua kecamatan yaitu kecamatan Kuta Alam dan Kecamatan Syiah Kuala, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.2





Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian

### **3.3 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan suatu cara yang digunakan untuk menjawab masalah penelitian yang berkaitan dengan data berupa angka dan program statistik. Untuk dapat menjabarkan dengan baik tentang pendekatan dan jenis penelitian, populasi dan sampel, instrumen penelitian, teknik pengumpulan data, dan analisis data dalam suatu proposal dan/atau laporan penelitian (Wahidmurni, 2017).

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskriptif. Menurut Muhson (2006) analisis statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Analisis ini hanya berupa akumulasi data dasar dalam bentuk deskripsi semata dalam arti tidak mencari atau menerangkan hubungan, menguji hipotesis, membuat ramalan, atau melakukan penarikan kesimpulan.

#### **3.3.1 Populasi dan Sampel Penelitian**

##### **a. Populasi**

Menurut Arikunto (2013) populasi adalah keseluruhan objek dari seluruh penelitian. Sedangkan menurut Sugiyono (2013) populasi merupakan generalisasi yang terdiri atas objek/subjek yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan. Adapun populasi dalam penelitian ini adalah pelanggan yang berada di wilayah pelayanan Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh yang terdiri dari kecamatan Syiah Kuala dan Kecamatan Kuta Alam.

##### **b. Sampel**

Sampel adalah sebagian atau wakil populasi yang diteliti (Arikunto, 2013), sedangkan menurut Sugiyono (2013) mendefinisikan sampel sebagai bagian dari jumlah dan karakteristik yang ada pada populasi tersebut. Metode perhitungan sampel

dilakukan sesuai dengan peraturan yang ditetapkan dalam PERMENKES No. 736/MENKES/PER/VI/2010 tentang tata laksana pengawasan kualitas air minum. Penentuan jumlah dan frekuensi pengambilan sampel air minum dijelaskan pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Jumlah dan Frekuensi Pengambilan Sampel Air Minum

Parameter	Frekuensi Pengujian	Jumlah Sampel/parameter/ jaringan distribusi		
		Jumlah penduduk yang dilayani		
		<5000	<5000-100000	>100000
Fisik	Satu bulan sekali	1	1 per 5000 penduduk	1 per 10000 penduduk ditambah 5 sampel tambahan
mikrobiologi	Satu bulan sekali	1	1 per 5000 penduduk	1 per 10000 penduduk ditambah 5 sampel tambahan
Sisa Klor*	Satu bulan sekali	1	1 per 5000 penduduk	1 per 10000 penduduk ditambah 5 sampel tambahan
Kimia Wajib	Tiga bulan sekali	1	1 per 5000 penduduk	1 per 10000 penduduk
Kimia Tambahan**	Tiga bulan sekali	1	1 per 5000 penduduk	1 per 10000 penduduk

\* = sisa klor bebas di uji pada *outlet* reservoir dengan nilai maksimal 1 mg/L dan titik terjauh unit distribusi minimal 0,2 mg/L

\*\* = parameter kimia tambahan yang ditetapkan peraturan daerah

Sumber: Permenkes No. 736/MENKES/PER/VI/2010

Wilayah pelayanan zona 1 PDAM Tirta Daroy melayani kurang lebih 11.296 sambungan rumah. Asumsi jumlah orang dalam satu sambungan rumah terdapat 5 orang, maka dari hasil penetapan tersebut didapatkan total jumlah penduduk yang

dilayani sebesar 52.580 jiwa. Penduduk yang dilayani yaitu <5000-100000 sesuai dengan Tabel 3.2 jumlah sampel yang diambil adalah 1 per 5000 penduduk.

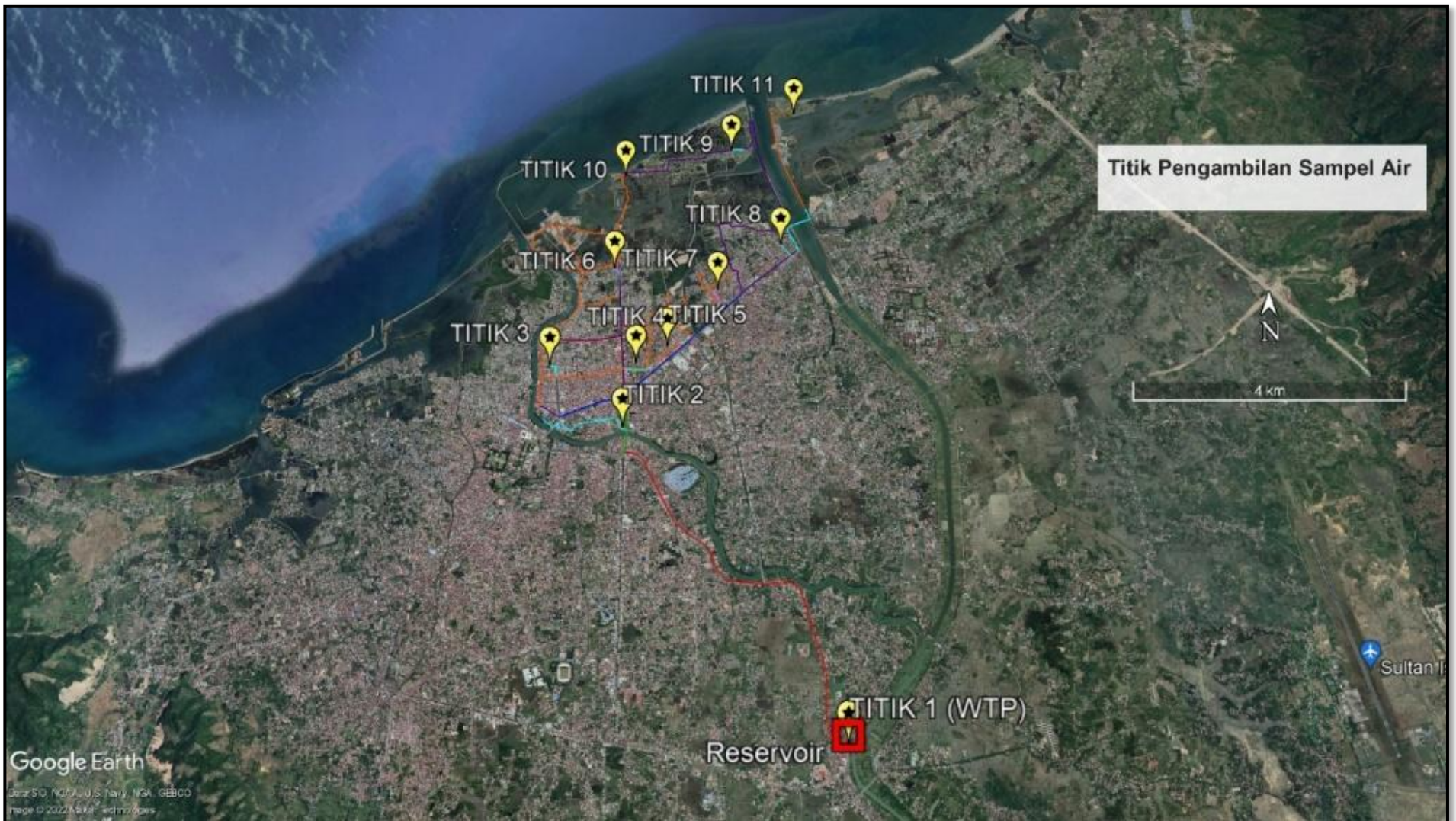
perhitungan sebagai berikut:

$$\text{jumlah sampel} = \frac{52580}{5000} = 10,516 \approx 11 \text{ sampel}$$

### 3.3.2 Penentuan Lokasi Titik Pengambilan Sampel Air

Penentuan titik pengambilan sampel air menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu sampel diambil dari beberapa lokasi tertentu untuk mewakili keadaan keseluruhan jaringan distribusi, dengan suatu pertimbangan tertentu seperti sifat-sifat populasi ataupun kriteria yang digunakan. Oleh sebab itu dengan menggunakan metode *purposive sampling*, diharapkan hasil pengukuran sampel pada masing-masing lokasi pengambilan sampel dapat menggambarkan kondisi jaringan distribusi pipa.

Lokasi penelitian dilakukan pada jaringan pipa distribusi yang berada pada Zona 1 PDAM Tirta Daroy yaitu di kecamatan Syiah Kuala dan Kecamatan Kuta Alam. Sampel yang diambil merupakan sampel air, yang diambil pada *junction* (sambungan rumah pelanggan) di wilayah pelayanan Zona 1 PDAM Tirta Daroy. Pengambilan sampel air dilakukan pada lokasi yang berbeda. Kriteria pengambilan sampel berdasarkan jarak, dengan perincian 3 sampel yang jaraknya dekat dengan reservoir, 3 sampel jarak menengah dan 4 sampel jarak terjauh serta 1 sampel pada reservoir. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Lokasi Pengambilan Sampel Air

### 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Alat
  - a). botol plastik 600 ml
  - b). pH meter
  - c). *HANNA Multiparameter*
  - d). *beaker glass*
- b. Bahan
  - a). sampel air
  - b). aquades
  - d). *pH buffer (4,0 – 6,8)*

### 3.4 Pengambilan dan Pengujian Data

#### 3.4.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil penelitian baik itu pengujian langsung di lapangan (*insitu*) maupun pengujian laboratorium (*eksitu*). Parameter yang langsung diuji di lapangan (*insitu*) yaitu Suhu, pH dan Kebutuhan air di titik sampling yang telah ditentukan sedangkan untuk Konsentrasi Klor dilakukan uji laboratorium. Adapun cara pengambilan dan pengujian data sampel masing-masing parameter dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pengambilan sampel air. Caranya bersihkan dan bilas kran dengan debit konstan selama 2 - 3 menit atau lebih lama jika diperlukan untuk mencapai suhu konstan sebelum contoh air tersebut diambil. Pengambilan sampel air pada (SNI 7828-2012)
- b. Pengujian konsentrasi klor. Untuk konsentrasi klor pengujian dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh.
- c. Pengujian pH. Pengujian pH air dengan menggunakan alat pH meter yang telah di kalibrasi terlebih dahulu dengan larutan *dapar (Buffer)* pH 4,0 dan pH 6,8. Berdasarkan Prinsip kerja SNI (06-6989.11-2004).

- d. Pengujian suhu air. Pengujian suhu air dilakukan menggunakan *HANNA Multiparameter*.
- e. Pemeriksaan debit air pada kran pelanggan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kebutuhan air pada lokasi pengambilan sampel yang telah ditentukan. Caranya, buka kran air dan biarkan air mengalir selama 30 detik kemudian air ditampung ke dalam wadah yang volume nya 600 ml kemudian catat waktu yang dibutuhkan air memenuhi wadah tersebut. Pengukuran debit menggunakan persamaan (Sumantri, 2012)

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (9)$$

Dengan: Q = debit (L/s)  
V = volume (L)  
t = waktu (s)

### 3.4.2 Data Sekunder

Untuk data sekunder diperoleh dari PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh. Data sekunder yang dibutuhkan adalah peta daerah pelayanan zona 1 PDAM Tirta Daroy, data jumlah pelanggan PDAM Tirta Daroy, data peta jaringan distribusi PDAM Tirta Daroy, data dimensi pipa yang digunakan, Panjang pipa, diameter pipa, bahan yang digunakan dan Panjang pipa. Peta daerah pelayanan diperlukan untuk mengetahui letak wilayah studi secara detail. Data jumlah pelanggan diperlukan untuk menentukan jumlah sampel dalam penelitian.

### 3.5 Analisis Data dan Pembahasan Hasil

Analisis jaringan distribusi PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh dilakukan menggunakan *software EPANET 2.2* dan juga dilakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungan sisa klor terhadap suhu dan pH terhadap penyebaran klor di

jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh. Untuk analisis statistik digunakan SPSS.

### 3.5.1 Simulasi Hidrolis Jaringan Distribusi

Simulasi hidrolis pada jaringan distribusi dilakukan dengan bantuan *software EPANET 2.2*, Peta jaringan distribusi di gambar ulang pada *network map software EPANET 2.2* dengan *input* yang sesuai dengan model *eksisting* dan data sekunder yang telah didapat, kemudian yang perlu di gambar berikutnya yaitu 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*.

### 3.5.2 Perhitungan Koefisien Penurunan Klor

Dalam melakukan analisa sisa klor perlu dilakukan perhitungan koefisien penurunan sisa klor pada sistem distribusi *eksisting*. Dalam pengamatan ini dicatat lokasi sampel (alamat pelanggan) yang nantinya digunakan untuk mengetahui konsentrasi sisa klor pada setiap lokasi pengambilan sampel yang sudah ditentukan. Berdasarkan pada data yang telah didapatkan dicari koefisien penurunan sisa klor pada jaringan distribusi sesuai rumus (Rossman, 2000)

$$inC_e = inC_0 \left( \frac{k}{v} \right) L \dots \dots \dots (10)$$

Dengan:  $C_e$  = Konsentrasi sisa klorin pada jarak tertentu (mg/L)

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

k = Konstanta penurunan

v = Kecepatan (m/s)

L = Jarak aliran (m)

### 3.5.3 Perbandingan Sisa Klor di *EPANET 2.2* dengan Hasil Uji Lapangan

Untuk mengetahui perbandingan kedua jenis data yang telah didapatkan, maka digunakan analisis data. Analisis perbandingan dilakukan terhadap nilai sisa klor hasil dari pengukuran lapangan dengan hasil dari software *EPANET 2.2*. Perbandingan data 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. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0) maka semakin akurat hasil yang didapatkan. Data yang telah didapatkan dicari sesuai rumus (Arun, 2011)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2}{n}} \dots\dots\dots(11)$$

Dengan: X = data lapangan  
Y = data prediksi  
n = banyaknya data

### 3.5.4 Analisis Hubungan Suhu, pH dan Jarak terhadap Sisa Klor

Penelitian ini menggunakan dua jenis variabel yaitu variabel terikat (*dependen*) dan variabel bebas (*independen*). Variabel terikat (*dependen*), variabel yang dipengaruhi yaitu sisa klor pada setiap lokasi yang terdapat pada daerah penelitian, variabel bebas (*independen*), variabel yang mempengaruhi jumlah sisa klor yang terdapat pada jaringan distribusi.

Uji *Normalitas* data dilakukan dengan menggunakan *software Statistical Product and Service Solution* (SPSS). Ada dua jenis data yang dihasilkan pada uji *Normalitas* ini, yaitu data yang terdistribusi normal dan data yang tidak terdistribusi normal. Data tersebut bisa dikatakan terdistribusi normal apabila data tersebut memiliki nilai

signifikansi  $> 0,05$  dan begitu juga sebaliknya, data tersebut dikatakan tidak terdistribusi normal apabila nilai signifikansinya  $< 0,05$ .

Metode uji *Normalitas* yang digunakan pada penelitian ini yakni *Shapiro-wilk*, metode ini digunakan karena jumlah sampel pada penelitian ini kurang dari 50. Pada penelitian ini juga menggunakan analisis korelasi, hal ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antara satu parameter dengan parameter lainnya. Terdapat dua metode analisis korelasi yang digunakan yaitu analisis korelasi *Pearson* dan korelasi *Rank Spearman*. Analisis korelasi *Pearson* digunakan apabila data yang digunakan terdistribusi normal sedangkan analisis *Rank Spearman* digunakan apabila data tidak terdistribusi normal. Pada koefisien korelasi mempunyai pelambangan untuk menyatakan hubungannya, jika korelasinya sama dengan 0, maka kedua variabel tersebut tidak memiliki hubungan sama sekali. Untuk menunjukkan arah hubungan antara kedua variabel digunakan notasi (+) atau (-) (Sujarweni, 2014)



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Bab ini menjelaskan tentang data hasil penelitian dan pembahasan terhadap penelitian yang telah dilakukan. Pembahasan pada bab ini meliputi analisis pola penyebaran konsentrasi sisa klor pada jaringan distribusi, analisis perbandingan konsentrasi sisa klor antara data di lapangan dengan hasil simulasi *software EPANET* 2.2 dan analisis hubungan antara parameter suhu, pH, dan jarak distribusi terhadap penurunan konsentrasi sisa klor pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh.

#### **4.2 Hasil Pengujian Sisa Konsentrasi Klor**

Disinfeksi adalah proses di mana mikroorganisme yang terlarut dalam air dihilangkan sebelum didistribusikan ke masyarakat (Elly, 2008). Disinfeksi bisa dilakukan secara fisik (pemanasan) maupun secara kimiawi (penambahan bahan kimia) (Fuadi, 2012). Disinfeksi digunakan sebagai salah satu upaya peningkatan kualitas air PDAM secara berkala dengan tujuan agar kualitas air minum yang diproduksi tetap terjaga (Elly, 2008). Pada umumnya proses disinfeksi ini menggunakan penambahan bahan kimia (Klor) dalam air. Di IPA PDAM Tirta Daroy bahan kimia yang digunakan sebagai disinfektan adalah Natrium Hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) dalam bentuk cair.  $\text{NaOCl}$  yang digunakan memiliki konsentrasi kemurnian klor kurang lebih 12 % (PDAM Tirta Daroy, 2021).

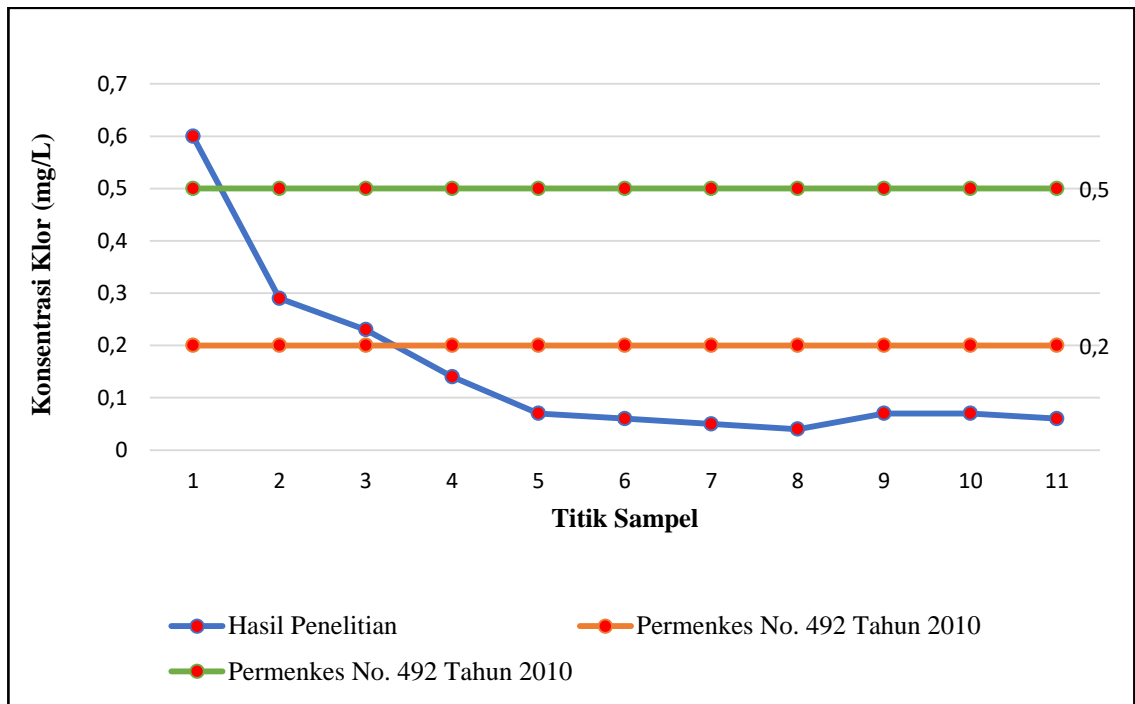
Untuk menentukan berapa besar konsentrasi sisa klor yang ada pada jaringan distribusi PDAM Tirta Daroy, maka dilakukan pengujian kualitas air dengan cara mengambil sampel air di rumah pelanggan untuk diuji kualitasnya. Setelah sampel terkumpul, kemudian dilakukan pengujian sisa konsentrasi klor di Unit Pelaksana

Teknis Daerah (UPTD) Balai Laboratorium Kesehatan Aceh. Hasil dari pengukuran sisa konsentrasi klor di masing-masing titik sampling dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Konsentrasi Klor

No	Lokasi Pengambilan	Kode Sampel	Hasil Analisa Klor (Mg/L)	Waktu (S)	Volume Sampel (ml)	Volume (L)	Debit (Q)(L/s)
1	WTP Lambaro	titik 1	0,60				286
2	Jln. Mayjen T. Hamzah Bendahara	titik 2	0,29	3.32	600	0.6	0.18
3	Jln. Kartika Bandar Baru Komplek Asrama TNI AD	titik 3	0,23	2.10	600	0.6	0.29
4	Jln. Kuala Unga, Kp. Mulia	titik 4	0,14	4.75	600	0.6	0.13
5	Jln. Pari, Kp. Bandar Baru	titik 5	0,07	3.79	600	0.6	0.16
6	Jln. Syiah Kuala, Kp. Lamdingin	titik 6	0,06	3.06	600	0.6	0.20
7	Jln. Pusara, Kp. Jeulingke	titik 7	0,05	2.02	600	0.6	0.30
8	Jln. Rawa Sakti, Jeulingke	titik 8	0,04	2.13	600	0.6	0.28
9	Jln. Syiah Kuala, Kp. Deah Raya	titik 9	0,07	3.73	600	0.6	0.16
10	Jln. Syiah Kuala, Kp. Alu Naga	titik 10	0,07	3.12	600	0.6	0.19
11	Jln. Todak, Kp. Alu Naga	titik 11	0,06	11.53	600	0.6	0.05

Berdasarkan pada Tabel 4.1 dapat diketahui tingkat konsentrasi klor pada tiap-tiap lokasi pengambilan sampel. Konsentrasi klor yang tertinggi ada di titik 1 dengan konsentrasi klor 0.60 Mg/L, sedangkan untuk konsentrasi klor yang terendah terdapat pada titik 8 dengan konsentrasi klor 0.04 Mg/L. berikut ini juga disajikan tingkat konsentrasi klor dan PERMRNKES No. 492 Tahun 2010 dalam bentuk grafik, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Diagram Perbandingan sisa Klor hasil penelitian dan standar minimal Permenkes No. 492 tahun 2010

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat terjadinya penurunan konsentrasi sisa klor yang cukup signifikan pada data hasil penelitian. Pada awalnya konsentrasi klor di sumber tempat klor dibubuhkan (WTP) adalah 0,60 mg/L kemudian terus terjadi penurunan konsentrasinya hingga mencapai titik terendahnya yaitu 0,04 mg/L yang terdapat pada sampel ke delapan. Menurut Ramli (2010) jarak tempuh air memberikan pengaruh terhadap suhu dan PH yang ikut mengatur klor aktif dalam air. Berdasarkan Gambar 4.1 kita juga dapat melihat bahwa masih banyak terdapat konsentrasi klor yang masih belum memenuhi baku mutu untuk konsentrasi klor minimal yang telah ditetapkan yaitu 0,2 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya ada 2 sampel air yang memenuhi baku mutu yaitu pada sampel yang ke dua sebesar 0,29 mg/L dan sampel yang ke tiga sebesar 0,23 mg/L sedangkan pada sampel yang lainnya masih belum sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan. Apabila konsentrasi klor <0,2 mg/L maka dapat mengakibatkan efek samping bagi manusia yang mengonsumsi air tersebut. Pemberian klor (klorinasi) sendiri bertujuan untuk membunuh mikroba

dalam air supaya kualitas air dapat meningkat, hal ini disebabkan karena klor bereaksi dengan beberapa senyawa organik pada proses pendistribusiannya, tapi jika pembubuhan senyawa klor terlalu berlebihan, Sisa klor akan mempengaruhi bau dan rasa air minum (Pusdiknakes, 2002). Menurut Elly (2008) salah satu penyakit yang masih menjadi masalah kesehatan akibat kualitas air minum yang kurang baik adalah penyakit Diare (*Gastroenteritis*), di Indonesia dapat ditemukan sekitar 60 juta kejadian setiap tahun pasien penderita diare, 70-80% dari penderita adalah Balita dengan 40 juta kasus.

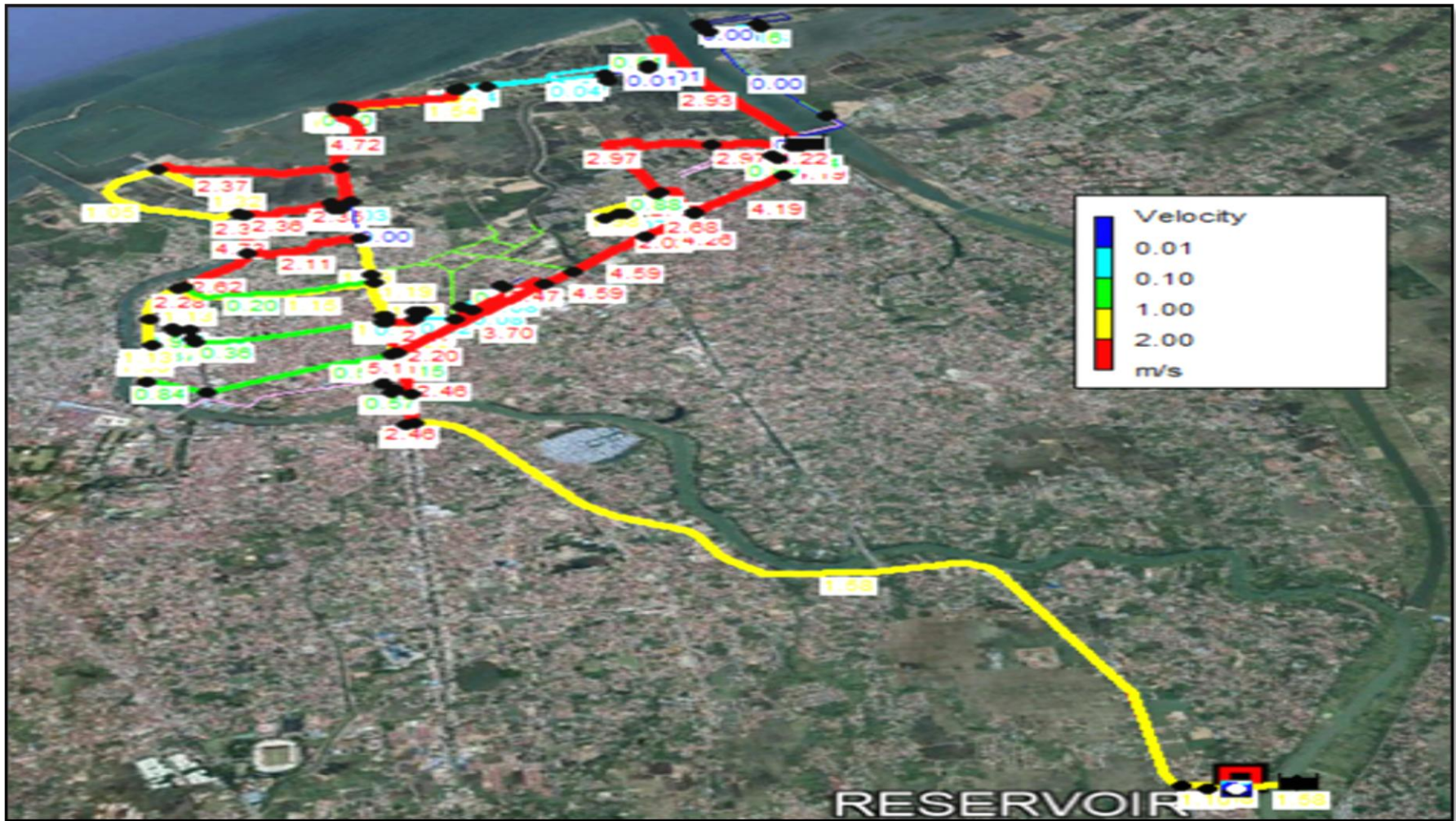
### **4.3 Pola Sebaran Sisa Konsentrasi Klor Bebas pada Jaringan Distribusi**

#### **4.3.1 Simulasi Hidraulis Jaringan Distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy**

Simulasi hidraulis dilakukan untuk menguji kinerja pipa jaringan distribusi dengan indikator yang menjadi evaluasi adalah kecepatan aliran pada pipa distribusi saat jam puncak pemakaian air. Untuk mengetahui kecepatan aliran pada pipa distribusi digunakan bantuan *Software EPANET 2.2*, data-data yang diinput pada *software EPANET 2.2* merupakan data yang mewakili kondisi *eksisting*. Data data yang perlu diinput di *Software EPANET 2.2* seperti peta jaringan, elevasi, jenis pipa, diameter pipa, koefisien pipa, dan debit air pada *node*.

#### **4.3.2 Menghitung Kecepatan Aliran Pipa**

Untuk menentukan kecepatan aliran pada pipa digunakan *software EPANET 2.2*. Adapun cara untuk mengetahui kecepatan aliran pada pipa yaitu: data yang sudah didapatkan dimasukkan ke dalam *software EPANET 2.2*, setelah data dimasukkan maka pada bagian *pipe* akan memunculkan nilai dari kecepatan aliran pipa tersebut. Lokasi pengambilan sampel disesuaikan dengan *node* pada *software EPANET 2.2*. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2

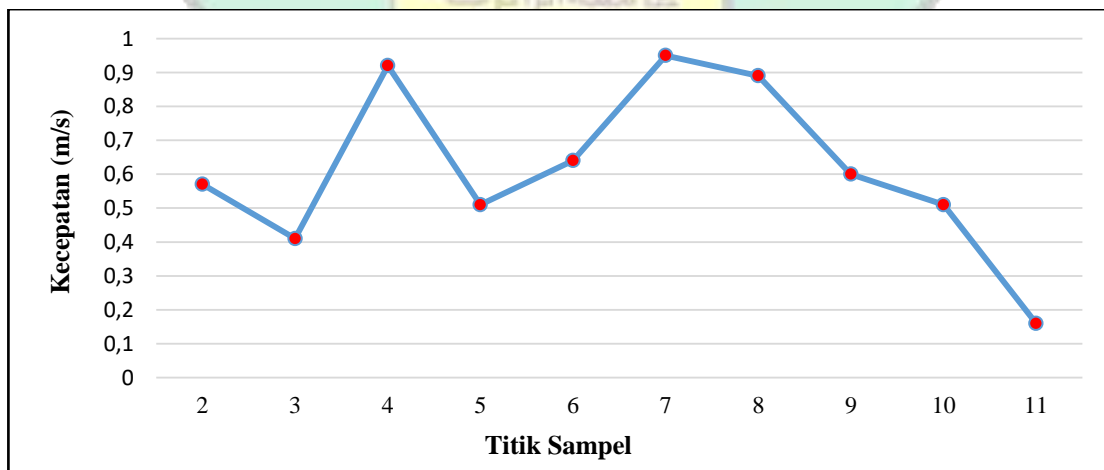


Gambar 4. 2 kecepatan aliran pada pipa distribusi

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat kecepatan aliran yang terdapat pada masing masing pipa yang ada di jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy. Kecepatan aliran pada pipa ditampilkan dalam berbagai warna yang berbeda, setiap warna memiliki besaran nilainya masing masing, warna merah menunjukkan kecepatan aliran  $\geq 2,0$  m/s, warna kuning antara 1,0 - 2,0 m/s, warna hijau antara 0,10 - 1,0 m/s, warna biru muda antara 0,01 m/s - 0,10 m/s sedangkan warna biru tua berkisar antara 0,00 m/s - 0,01 m/s. Berikut juga disajikan data kecepatan aliran pipa pada setiap lokasi sampel, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3

Tabel 4. 2 kecepatan aliran pada pipa di setiap lokasi pengambilan sampel

No	Keterangan Sampel	Lokasi Titik Sampel	Laju Alir (m/s)	Pipa
1	Titik 2	Jln. Mayjen T. Hamzah Bendahara	0.57	P11
2	Titik 3	Jln. Kartika Bandar Baru Komplek Asrama TNI AD	0.41	P83
3	Titik 4	Jln. Kuala Unga, Kp. Mulia	0.92	P56
4	Titik 5	Jln. Pari, Kp. Bandar Baru	0.51	P115
5	Titik 6	Jln. Syiah Kuala, Kp. Lamdingin	0.64	P14
6	Titik 7	Jln. Pusara, Kp. Jeulingke	0.95	P85
7	Titik 8	Jln. Rawa Sakti, Jeulingke	0.89	P131
8	Titik 9	Jln. Syiah Kuala, Kp. Deah Raya	0.60	P85.5
9	Titik 10	Jln. Syiah Kuala, Kp. Alu Naga	0.51	P129
10	Titik 11	Jln. Todak, Kp. Alu Naga	0.16	P113



Gambar 4. 3 Diagram Kecepatan aliran pipa pada setiap lokasi pengambilan sampel

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 diketahui kecepatan aliran yang ada pada pipa di masing masing lokasi pengambilan sampel. Kecepatan aliran pada pipa bervariasi tergantung dengan jenis pipa, jarak distribusi, koefisien kekasaran pipa, dan diameter pipa yang digunakan. Kecepatan aliran pada pipa yang tertinggi terdapat pada sampel yang ke tujuh dengan nomor pipa 85 yaitu sebesar 0.95 m/s sedangkan untuk yang terendahnya ada pada sampel yang ke tiga dengan nomor pipa 83 dengan kecepatan sebesar 0.41 m/s. Gambar 4.3 menunjukkan kecepatan (*velocity*) aliran pipa hasil simulasi dengan *Software* Epanet 2.2 pada daerah pelayanan zona 1 PDAM Tirta Daroy secara keseluruhannya. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum, persyaratan kecepatan aliran pipa distribusi adalah 0,3 - 6 m/s. Pada simulasi yang dilakukan dengan *Software* EPANET 2.2 masih terdapat kecepatan (*velocity*) aliran yang masih berada di bawah standar baku mutu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Kecepatan Aliran Pipa di bawah Standar baku Mutu

No.	No. Pipa	Kecepatan (m/s)
1	p7, p102, p105, p101, p103, P76, P75, P27, P53, P38, P55 dan P51	0,00 - 0,05
2	P9, P52, P57, P88, P78, P80, p84, p128 dan p95	0,05 - 0,2

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa terdapat 12 pipa yang kecepatannya <0,06 m/s dan juga ada 8 buah pipa yang kecepatannya <0,3 m/s, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada pipa tersebut tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Menurut penelitian yang dilakukan Fatma (2021) 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.

### 4.3.3 Penyebaran sisa Klor Pada Jaringan Distribusi

Penyebaran sisa klor di jaringan distribusi PDAM Tirta Daroy Zona 1 Kota Banda Aceh dalam penelitian ini di gambarkan menggunakan *software EPANET 2.2*. Parameter yang digunakan untuk Simulasi dengan *software EPANET 2.2* adalah klor. Simulasi ini digunakan untuk melihat bagaimana pola sebaran konsentrasi sisa klor yang ada pada jaringan distribusi PDAM Tirta Daroy Zona 1 Kota Banda Aceh.

### 4.3.4 Perhitungan Koefisien Penurunan Klor

Untuk menghitung koefisien penurunan klor digunakan *program EPANET 2.2* yang selanjutnya akan di proyeksikan untuk mengetahui penurunan rata rata koefisien penurunan konsentrasi klor dalam jaringan pipa. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Penurunan Klor Dengan *Software EPANET 2.2*

No	Keterangan Sampel	Konsentrasi Klor (Ce) (Mg/L)	Konsentrasi Klor (C0) (Mg/L)	Jarak Pipa (m)	Kecepatan Aliran (m/s)	Konstanta Penurunan Klor
1	Titik 2	0.29	0.60	6682	0.57	-0,00000814
2	Titik 3	0.23	0.60	8526	0.41	-0.0000106
3	Titik 4	0.14	0.60	7540	0.92	-0.00000663
4	Titik 5	0.07	0.60	8148	0.51	-0.0000128
5	Titik 6	0.06	0.60	10795	0.64	-0.00000782
6	Titik 7	0.05	0.60	9318	0.95	-0.00000621
7	Titik 8	0.04	0.60	10789	0.89	-0.00000583
8	Titik 9	0.07	0.60	12484	0.6	-0.00000708
9	Titik 10	0.07	0.60	13683	0.51	-0.00000759
10	Titik 11	0.06	0.60	13486	0.16	-0.000025
Rata rata Penurunan Konsentrasi Klor						-0.00000977

Pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa rata rata penurunan konsentrasi klor yaitu sebesar -0,00000977, nilai penurunan konsentrasi klor ini kemudian di input ke dalam *software EPANET 2.2*. Tahapan meng *input* nilai penurunan konsentrasi klor sebagai berikut: pada *Browser* pilih *Data - Option - Reactions - Global Bluk Reaction* lalu masukkan nilai yang telah dihitung pada *Global Bluk Coefficient*. Setelah koefisien penurunan konsentrasi klor dimasukkan kemudian dilakukan proses *Running*.

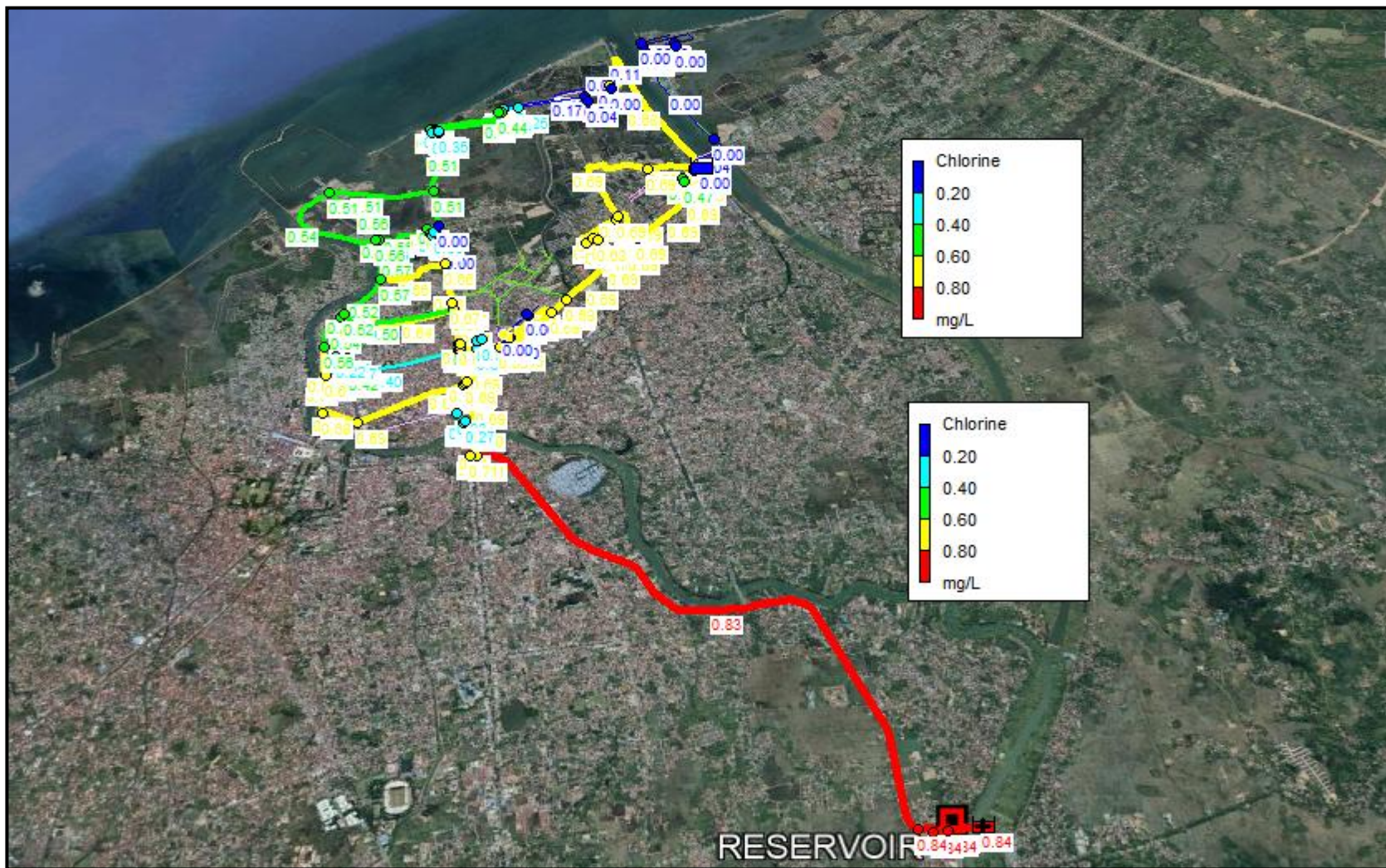
#### **4.3.5 Hasil Simulasi Pola Sebaran Klor Menggunakan EPANET 2.2**

Hasil simulasi penyebaran sisa klor pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy dapat dilihat pada Gambar 4.4 Pola sebaran klor yang ada pada jaringan distribusi zona 1 PDAM Tirta Daroy cukup bervariasi, hal ini ditunjukkan dengan indikator warna yang berbeda. *Software EPANET 2.2* menyajikan informasi dalam bentuk warna supaya lebih mudah dipahami. Warna yang ada pada Gambar 4.4 memiliki nilainya tersendiri. Terdapat lima warna yang berbeda yaitu warna merah, kuning, hijau, biru muda dan biru tua. Warna merah menunjukkan konsentrasinya > 0,80 mg/L, warna kuning konsentrasinya 0,60 - 0,80 mg/L, warna hijau konsentrasinya 0,40 - 0,60 mg/L, warna biru muda konsentrasinya 0,40 - 0,20 mg/L dan warna biru tua memiliki nilai konsentrasi 0,0 - 0,20 mg/L.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan *Software EPANET 2.2*, masih terdapat beberapa titik pada lokasi sampel yang diambil yang konsentrasi sisa klor nya <0,2 mg/L yaitu pada sampel yang ke empat dengan sisa konsentrasi klor sebesar 0,14 mg/L, sampel yang ke 5, 9 dan 10 sebesar 0,07 mg/L, sampel yang ke enam dan ke sebesar 0,06 mg/L dan sampel yang ke tujuh sebesar 0,05 mg/L. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010, konsentrasi sisa klor yang diperbolehkan berkisar antara 0,2 - 0,5 mg/L, hal ini menunjukkan bahwa pada masih terdapatnya sisa konsentrasi klor yang masih berada di bawah standar yang telah ditetapkan. Menurut Fatma (2021) dalam penelitiannya mengatakan bahwasanya ketika aliran air memasuki jaringan distribusi, disinfektan akan mengoksidasi komponen pencemar yang berada di air maupun yang berada di dinding pipa, sehingga sisa klor yang telah bereaksi dengan bahan pencemar tidak

lagi berguna sebagai desinfektan, hal inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi sisa klor pada air. Menurut Soemirat (2002) jika kadar sisa klor dalam jaringan distribusi air terlalu rendah, maka mikroorganisme dapat berkembang dalam air dan menyebabkan *waterborne disease* pada masyarakat.

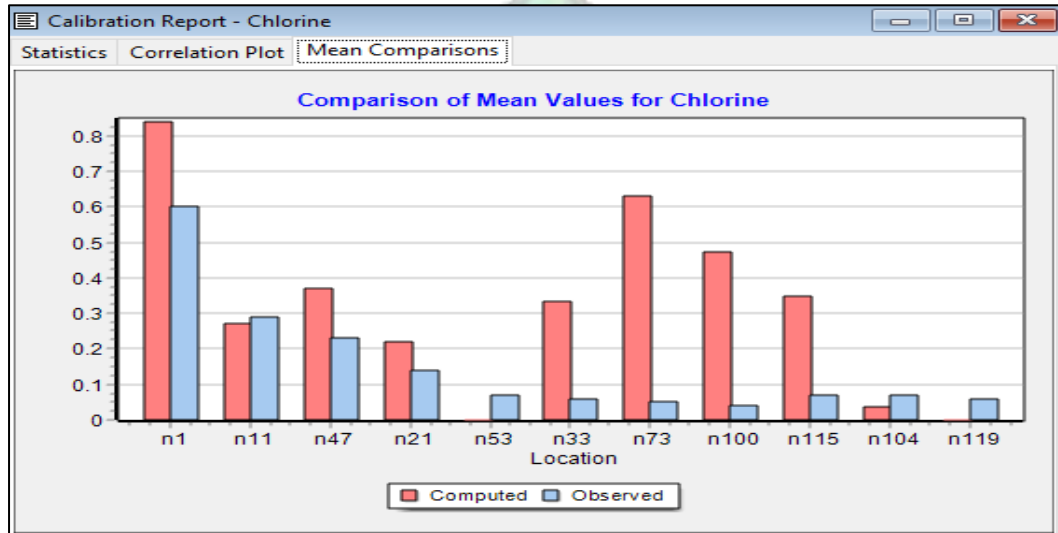




Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Sebaran Klor Pada Jaringan Distribusi

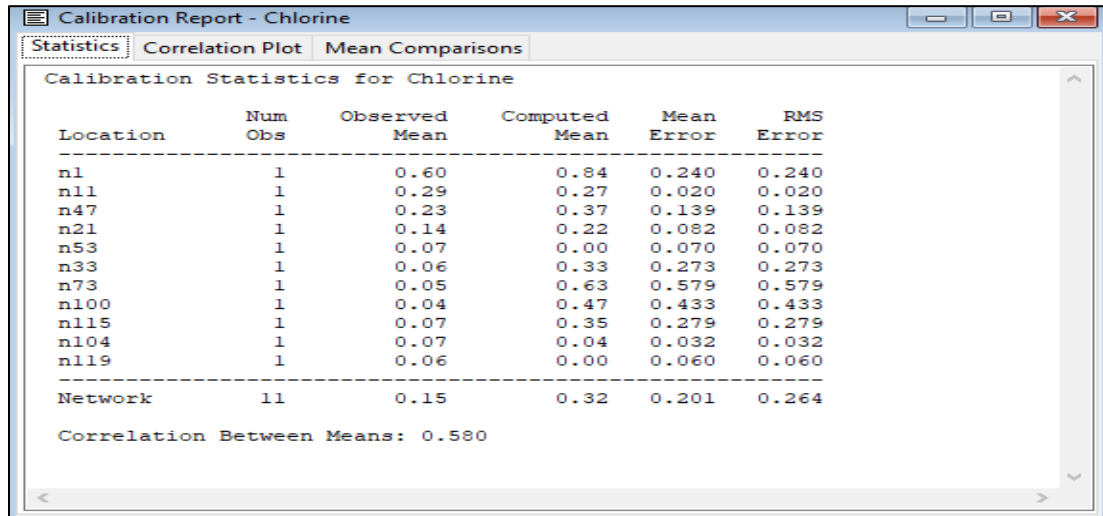
#### 4.4 Perbandingan Konsentrasi Sisa Klor Hasil Observasi dan EPANET 2.2

*Software EPANET 2.2* dapat menganalisis perbandingan hasil simulasi dan hasil data terukur di lapangan. Analisis perbandingan dilakukan terhadap nilai sisa klor hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi dengan *Software EPANET 2.2*. berikut ini disajikan data pengukuran di lapangan dan hasil simulasi *EPANET 2.2*, dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Diagram Sisa Klor Hasil Observasi dengan *EPANET 2.2*

Metode perbandingan yang dipakai dalam penelitian ini yaitu uji *Root Mean Square Error (RMSE)*. *Root Mean Square Error (RMSE)* merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, di mana semakin kecil (mendekati 0,0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Hasil statistik RMSE merupakan perbandingan terhadap nilai sisa klor hasil observasi dengan hasil simulasi menggunakan *Software EPANET 2.2*. Nilai perbandingan dapat dihitung secara otomatis menggunakan *software EPANET 2.2* dan juga bisa dilakukan dengan menghitung secara manual. perhitungan secara manual dilakukan dengan menggunakan rumus RMSE. Data perbandingan baik menggunakan *Software EPANET 2.2* maupun perhitungan secara manual dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.5.



Gambar 4. 6 Nilai RMSE Sisa Klor *Software EPANET 2.2*

Node (n)	Sisa Klor		Selisih (x-y)	(x-y) <sup>2</sup>	$\Sigma(x-y)^2/n$	RMSE
	Hasil Uji Lapangan (x)	Hasil Simulasi Epanet 2.2 2.2 (y)				
Node 1	0,6	0,84	-0,24	0,06	0,07	0,26
Node 11	0,29	0,27	0,02	0,00		
Node 47	0,23	0,37	-0,14	0,02		
Node 21	0,14	0,22	-0,08	0,01		
Node 53	0,07	0,00	0,07	0,00		
Node 33	0,06	0,33	-0,27	0,07		
Node 73	0,05	0,62	-0,57	0,32		
Node 100	0,04	0,47	-0,43	0,18		
Node 115	0,07	0,35	-0,28	0,08		
Node 104	0,07	0,04	0,03	0,00		
Node 119	0,06	0,00	0,06	0,00		
Total	1,68	3,51	-1,83	0,75		

Tabel 4. 5 Nilai RMSE Sisa Klor dengan Perhitungan Manual

Berdasarkan hasil uji RMSE yang telah dilakukan, baik itu secara otomatis dengan menggunakan *Software EPANET 2.2* maupun dengan perhitungan secara manual, didapatkan hasil yang sama terhadap sisa klor yaitu sebesar 0,26. Nilai uji RMSE yang dihasilkan mendekati 0,0 hal ini menunjukkan bahwa perbedaan nilai hasil lapangan dengan hasil simulasi tidak jauh berbeda dan juga memiliki tingkat

keakuratan yang cukup tinggi. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai sisa klor hasil simulasi umumnya lebih besar dari pada pengukuran yang dilakukan di lapangan. Menurut Fatma (2021) dalam penelitiannya mengatakan bahwa perbedaan nilai sisa klor ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti: faktor kebocoran yang tidak diperhitungkan pada *EPANET 2.2*, adanya interkoneksi aliran ke kawasan lain yang menyebabkan data tidak valid, serta koefisien kekasaran pipa yang masih belum sesuai dengan keadaan di lapangan.

#### 4.5 Hasil Pengukuran dan Analisis Hubungan Antar Parameter Terhadap Sisa Klor

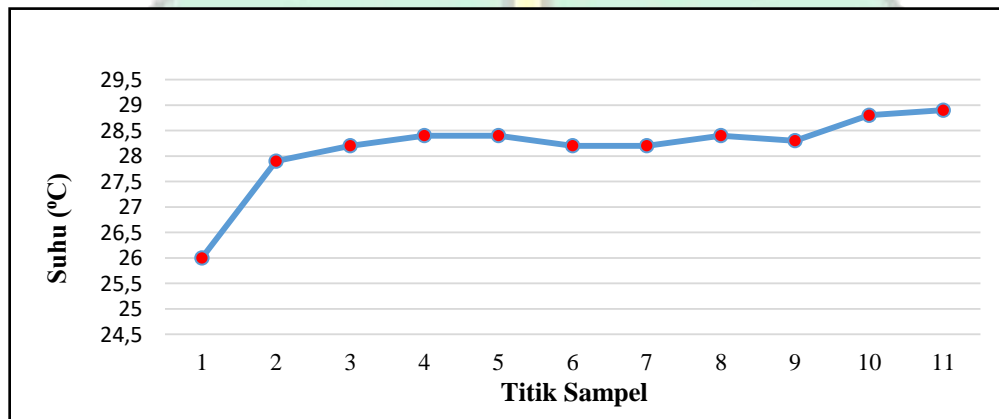
Pemantauan dan pengukuran di lapangan dilakukan pada sebelas titik lokasi yang telah dipilih. Pengukuran dilakukan selama 2 hari yang dilaksanakan pada jam 08.00 - 15.00 WIB. Parameter yang diukur di lapangan yaitu parameter suhu dan pH. Nilai dari pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk analisis korelasi hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari masing-masing parameter, seperti pH, suhu dan jarak, terhadap sisa klor. Penentuan jenis korelasi yang digunakan ditentukan sesuai dengan hasil uji *normalitas* data yang dilakukan, sehingga data diuji *normalitas* nya terlebih dahulu. 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 4.6. Data yang terdistribusi normal adalah data yang memiliki nilai signifikansi besar dari  $>0,05$  sedangkan data dikatakan tidak terdistribusi normal apabila nilai signifikansinya  $<0,05$  . Untuk data yang terdistribusi normal, maka uji korelasi yang digunakan adalah *Pearson*, sementara yang tidak terdistribusi normal menggunakan uji korelasi *Rank Spearman*.

Tabel 4. 6 Hasil Uji *Normalitas*

No.	Parameter	Nilai Signifikansi	Analisis
1	Jarak	0,160986	<i>Pearson</i>
2	Sisa Klor	0,000312	<i>Rank Spearman</i>
3	pH	0,000025	<i>Rank Spearman</i>
4	Suhu	0,000313	<i>Rank Spearman</i>

#### 4.5.1 Hasil Pengukuran Suhu

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, nilai suhu yang didapatkan pada lokasi sampel cenderung mengalami peningkatan dari sumbernya (reservoir). Data hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Gambar 4.7. Data hasil pengukuran suhu pada suhu air sampel berkisar antara 26 °C - 28,9 °C, suhu terendah ada pada reservoir sedangkan suhu tertinggi terdapat pada sampel yang ke sebelas di Jln. Todak, Kp. Alu Naga. Nilai ini masih memenuhi Permenkes No. 492 Tahun 2010 yaitu suhu harus berada pada rentang  $\pm 3$  suhu udara yaitu pada 20 °C - 30 °C.

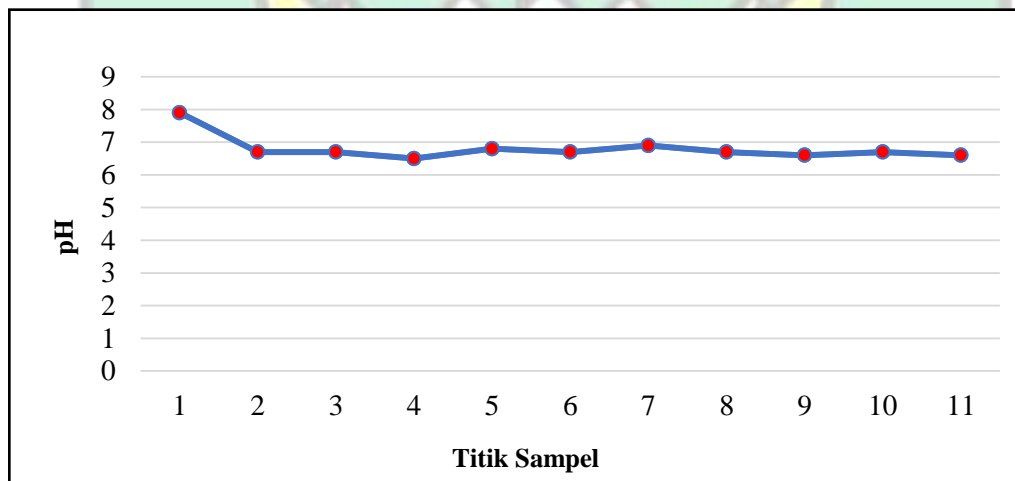


Gambar 4. 7 Diagram hasil pengukuran suhu

Berdasarkan hasil pemeriksaan, Suhu air meningkat seiring dengan semakin jauhnya jarak pendistribusian air dari reservoir. Menurut PUSDINKAKES, (1979) Peningkatan suhu sendiri dapat terjadi akibat distribusi air melalui perpipaan yang kurang baik dengan suplai air tambahan dari yang dibuang dari proses produksi yang menggunakan pemanasan atau disebabkan oleh peningkatan suhu udara sekitar pipa distribusi air. Menurut Ramli (2010) umumnya kenaikan suhu dapat meningkatkan laju korosi tergantung karakteristik mikroorganisme yang mempunyai suhu optimum untuk tumbuh.

#### 4.5.2 Hasil Pengukuran pH

Hasil pengukuran parameter pH dapat dilihat pada Gambar 4.9, didapatkan nilai pH pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy pada rentang 6,5 - 7,9. pH air sampel yang tertinggi ada sampel yang ke satu sebesar 7,9 sementara pH yang terendah terdapat pada sampel yang ke 4 yaitu 6,5, sedangkan untuk pH air sampel rata-rata sebesar 6,8. Berdasarkan Permenkes RI Nomor 429/MENKES/1V/2010 nilai pH air yang masih yang diperbolehkan yaitu sebesar 6,5-8,5, maka nilai pH pada penelitian ini masih sesuai dengan baku mutu. Menurut Daud (2001) pH yang netral dapat mendukung proses pengolahan dilakukan secara efektif. Kegunaan pengaturan pH dalam instalasi air minum bertujuan untuk mengendalikan korosif perpipaan dalam sistem distribusi. Air merupakan bahan pelarut yang sangat baik sehingga apabila pH nya tidak netral, maka dapat melarutkan berbagai elemen kimia yang dilaluinya (Soemirat, 2002)

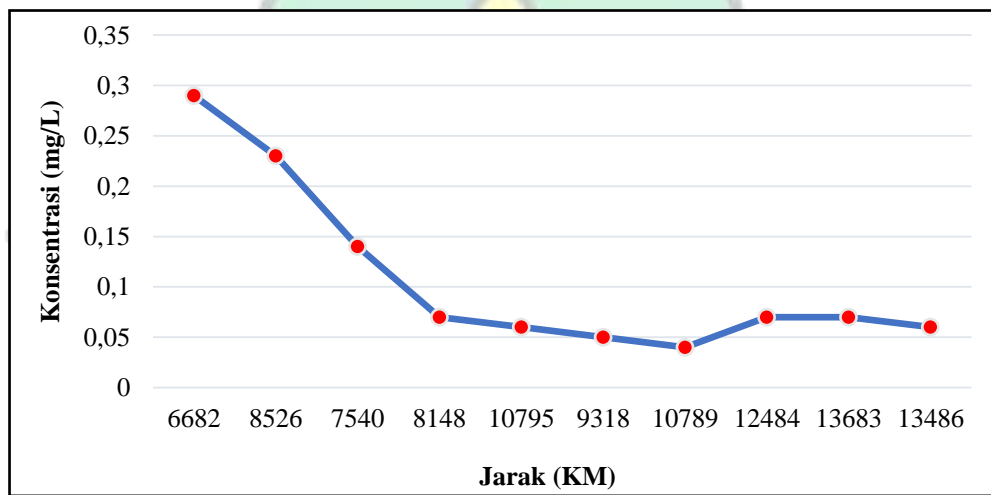


Gambar 4. 8 Diagram hasil pengukuran pH

#### 4.5.3 Jarak

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan penurunan sisa klor seiring dengan pertambahan jarak. Laju penurunan konsentrasi sisa klor terhadap jarak tempuh dapat dilihat pada Gambar 4.9. Lokasi pengambilan sampel pada titik

yang ke dua merupakan yang paling dekat dengan reservoir dengan jarak 6682 m, konsentrasi sisa klor yang didapatkan yaitu 0.29 mg/L sedangkan lokasi pengambilan sampel dengan jarak yang terjauh yaitu 13683 m terdapat pada lokasi pengambilan sampel yang ke 10, hasil sisa konsentrasi klor yang didapatkan yaitu 0,06 mg/L. Menurut Vakalisa (2019) 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.



Gambar 4. 9 Diagram Konsentrasi sisa klor terhadap jarak

#### 4.5.4 Hubungan Antara Parameter Suhu, pH, dan Jarak Terhadap Penurunan Sisa Klor

Hasil analisis korelasi yang telah dilakukan terhadap parameter suhu, pH dan jarak terhadap sisa konsentrasi klor dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Nilai Korelasi Setiap Parameter Terhadap Penurunan Klor

No.	Parameter	<i>Correlation</i>	Keterangan
1	Suhu	-0,492	lemah
2	pH	0,827	sangat kuat
3	Jarak	-0,884	sangat kuat

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat nilai korelasi yang didapatkan antara masing masing parameter terhadap penurunan konsentrasi sisa klor. Korelasi yang didapatkan antara suhu dengan klor yaitu sebesar -0,492, pH sebesar 0,827 sedangkan untuk jarak didapatkan hasil sebesar -0,884. Penjelasan hubungan antara masing masing parameter terhadap penurunan sisa konsentrasi klor dijelaskan sebagai berikut:

a. Suhu

Analisis korelasi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara suhu dengan klor adalah *korelasi Rank Spearman*. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan didapatkan nilai  $r$  hitung = -0,492, hal ini menunjukkan bahwa ada hubungan penurunan konsentrasi sisa klor terhadap suhu pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy. Korelasi antara suhu dengan klor menunjukkan hubungan negatif hal ini berarti semakin tinggi suhu pada jaringan distribusi maka sisa konsentrasi klor akan semakin berkurang. Berdasarkan pada Tabel 4.7 suhu dan klor menunjukkan yang tidak terlalu signifikan, dengan nilai korelasinya antara 0,60 - 0,40 hal ini menunjukkan korelasinya yang terjadi antara suhu dan klor berkorelasi lemah.

b. pH

Analisis korelasi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara pH dengan klor adalah *korelasi Rank Spearman*. Besar nilai  $r$  hitung= 0,827 untuk parameter pH, hal ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara klor terhadap pH pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy. Korelasi antara suhu dengan klor menunjukkan hubungan positif hal ini berarti semakin besar nilai pH pada jaringan distribusi maka sisa konsentrasi klor akan semakin tinggi. pH dan klor menunjukkan hubungan yang signifikan dengan besarnya nilai korelasinya yaitu antara 0,80 - 1,00 hal ini berarti korelasinya yang terjadi antara pH dan klor berkorelasi sangat kuat.

c. Jarak

Analisis korelasi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara suhu dengan klor adalah *korelasi Pearson*. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan didapatkan nilai  $r$  hitung = -0,884, hal ini menunjukkan bahwa ada hubungan penurunan konsentrasi sisa klor terhadap suhu pada jaringan distribusi Zona 1 PDAM Tirta Daroy. Korelasi antara jarak dengan klor menunjukkan hubungan negatif hal ini berarti semakin jauh jarak distribusi air dari sumber (reservoir) pada jaringan distribusi maka sisa konsentrasi klor akan semakin berkurang. Jarak dan klor menunjukkan hubungan yang cukup kuat dengan nilai korelasinya antara 0,80 - 1,00 hal ini berarti korelasinya yang terjadi antara jarak distribusi dan klor berkorelasi sangat kuat.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada jaringan distribusi air Zona 1 PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian pada sampel air di sepuluh rumah pelanggan PDAM Tirta Daroy menunjukkan bahwa sisa konsentrasi klor berada dalam rentang 0,04 - 0,23 mg/L. Baku mutu Permenkes no. 492 tahun 2010 menyatakan bahwa konsentrasi klor yang diperbolehkan adalah 0,2-0,5 mg/L. Simulasi dengan EPANET 2.2 menunjukkan hasil dengan rentang 0,00 – 0,84 mg/L.
2. Perbandingan hasil simulasi sisa klor antara hasil observasi dengan hasil simulasi dengan *software EPANET 2.2* dilakukan dengan uji *Root Mean Square Error (RMSE)*, didapatkan hasil sebesar 0,264. Nilai RMSE yang mendekati 0,0 menunjukkan kesesuaian hasil data observasi di lapangan yang mendekati hasil pengukuran menggunakan *software EPANET 2.2*.
3. Hubungan parameter didapatkan dengan interpretasi sangat kuat adalah pH dan jarak, pH dengan nilai korelasi 0,827, jarak dengan nilai korelasi -0,884 sedangkan suhu berkorelasi lemah dengan nilai korelasi -0,492. Parameter yang memiliki korelasi paling kuat terhadap nilai sisa klor yaitu jarak, semakin jauh jarak maka semakin rendah sisa klor pada jaringan tersebut.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut yang akan dilakukan yaitu:

1. Perlunya dilakukan studi lebih lanjut dalam proses pembubuhan dosis klor supaya konsentrasi sisa klor yang sampai ke pelanggan memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan yaitu antara 0,2 - 0,5 mg/L
2. Untuk penelitian selanjutnya perlunya dilakukan pengujian terhadap parameter lainnya seperti bakteri *Escherechia coli*.
3. Perlunya dilakukan penambahan titik pengambilan sampel yang lebih banyak pada seluruh wilayah pelayanan PDAM Tirta Daroy supaya mendapatkan hasil yang lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ali. (2010). *Monograf Peran Proses Desinfeksi Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produksi Air Bersih* (Cetakan 1 ). Surabaya: UPN press.
- AL-Layla, M. S. (1977). *Water Supply Engineering Design*. Michigan: Ann ArborScience Publisher, Inc.
- Anthony dkk. (2012). Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek. *Skripsi*.
- Arikunto, S. (2002). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, PT. Rineka Cipta, Jakarta*
- Arsyadin. (2012). Pengaruh Jarak Tempuh Air Dari Unit Pengolahan Air Terhadap pH, Suhu, Kadar Sisa Klor dan Angka Lempeng Total Bakteri. *Jurnal Analisis Kesehatan sains, Vol. 01* .
- Asmadi, K., & Kasjono, H. S. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Badriyah. (2016). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Konsumsi Air PDAM Terhadap Pelanggan Sektor Rumah Tangga Dan Non Rumah Tangga Di Kota Lamongan. *jurnal penelitian ilmu manajemen, 1*.
- Damanhuri, E. (1989). *Pendekatan Sistem Dalam Pengendalian dan Pengoperasian Sistem Jaringan Distribusi Air Minum*. Bandung: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITB.
- Daud, A. (2001). *Dasar Dasar Kesehatan Lingkungan*: Makassar: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
- Abdulrahman, E. (2008). *Kadar Sisa Klor dan Kandungan Bakteri E. coli*: Jakarta: Rajawali Press.
- Faudi, A. (2012). *Pengaruh Residual Klorin Terhadap Kualitas Mikrobiologi Pada Jaringan Distribusi Air Bersih (studi kasus: Jaringan distribusi air bersih IPA Cilandak)*. Skripsi. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Indonesia.

- Fatma, L. (2021). *Analisis Kandungan Sisa Klor Dan Escherichia Coli Dalam Jaringan Distribusi Di District Meter Area (DMA) 2 Zona Bukit Surungan Perusahaan Umum Daerah (PERUMDA) Air Minum Kota Padang Panjang* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Goel, A. (2011). *ANN-Based Approach for Predicting Rating Curve of an Indian River*. International Scholarly Research Network ISRN Civil Engineering, Volume 2011, Article ID 291370, 4 pages doi:10.5402/2011/291370.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hasan, M. (2002). *Pokok-Pokok Materi Statistik 1 (Statistik Deskriptif)*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hermanto, J. Y. (n.d.). *Evaluasi Dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA 1) Sungai Sengkuang PDAM Tirta Pancur Aji Kota Sanggau*. *jurnal nasional*, 1-10.
- Kindler, J and Russel, C.S 1984. *Modeling Water Demands*. Academic Press Inc. London
- Kodotie, RJ, dan Sjarief, R. (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta (ID): Andi.
- Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1997.
- Machali, I. (2016). *Statistik Itu Mudah, Menggunakan SPSS Sebagai Alat Bantu Statistik* (Issue October 2015).
- Masduqi. A dan Assomadi. A. F. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya : ITS Press.
- Muhson, A. (2006). Teknik analisis kuantitatif. *Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta*, 183-196.
- Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/2010. *Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*.

- Peraturan Menteri Kesehatan No. 907 tahun 2002. *Tentang jenis air minum.*
- PERMEN PU No.18 Tahun 2007. *Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*
- PERMENKES No. 736/MENKES/PER/VI/2010 *tentang tata laksana pengawasan kualitas air minum*
- 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.
- Pusdiknakes, (2002) . *Kimia Air dan Makanan*. Jakarta: Depkes
- Ramli, HI. (2010). *Profil Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Bima: Bima*. Robbi ME, 2010. *Penyebab Korosi Pada Air Perpipaan*. Jakarta: Blogspot
- Rossmann L. A. (1993). *The EPANET water quality model. Volume 2-Application and implementation for system operation dan management.*
- Rossmann, L.A. (2000). *EPANET 2.2, Version 2,Users Manual, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati*
- Said, N. I. (2018). Disinfeksi untuk proses pengolahan air minum. *Jurnal Air Indonesia*, 3(1).
- Santoso. (2003). *Mengatasi Berbagai Masalah Statistik dengan SPSS Versi 11.5*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- SNI 7828-2012. *Pengambilan contoh air minum dari instalasi pengolahan air dan sistem jaringan distribusi Perpipaan.*
- SNI 06-6989.11-2004. *Tentang Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter*
- Soemirat. (2002). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

- Sofia, E dkk. (2015). Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas Di Jaringan Distribusi Ipa Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 1(1).
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian dan Pengembangan*, Penerbit Alfabeta Bandung. Yogyakarta.
- Sujarweni, V. W. (2014). *SPSS untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press
- Sumantry, T. (2012). *Pengukuran Debit Dan Kualitas Air Sungai Cisalak Pada Tahun 2012*. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif–Batan. Hasil Penelitian Dan Kegiatan PTLR Tahun.
- Susetyo, B. (2010). *Statistika untuk Analisis Data Penelitian*. Bandung: Refika Aditama.
- Sutrisno, T. Suciastuti, E. (1991). *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Bhineka Cipta, Jakarta
- Sutrisno. (2006). *Teknologi Penyediaan Air Bersih* (Cetakan 6 ed.). Jakarta: Penerbit PT Rineka Cipta.
- Syahputra. (2012). *Analisis Sisa Klor Pada Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Semarang*. Semarang: UNISSULA.
- Wahidmurni, W. (2017). Pemaparan metode penelitian kualitatif. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Winaja, I.W. (1986). *Perubahan Konsentrasi Klor Aktif pada Saluran Distribusi Air PDAM Buleleng*. Skripsi. Tidak Diterbitkan.

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1 Data Dokumentasi Penelitian





Pengujian suhu air menggunakan  
*HANNA MULTIPARAMETER*



Pengujian pH menggunakan pH  
meter



Meteran air pelanggan



Larutan buffer untuk kalibrasi alat penguji pH



Pengukuran debit pada rumah pelanggan



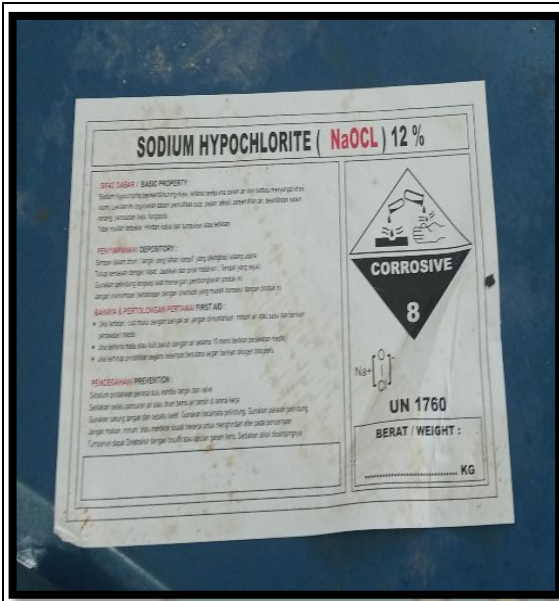
Pencatatan waktu untuk pengukuran debit air



Laboratorium PDAM Tirta Daroy



Ruang Penyimpanan Disinfektan  
PDAM Tirta Daroy



Jenis Disinfektan yang digunakan



Tempat Pembubuhan Dosis Disinfektan



Pompa Distribusi PDAM Tirta Daroy



Reservoir PDAM Tirta Daroy

LAMPIRAN 2 Data Hasil Uji Statistik

<p style="text-align: center;"><b>Tests of Normality</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Kolmogorov-Smirnov<sup>a</sup></th> <th colspan="3">Shapiro-Wilk</th> </tr> <tr> <th>Statistic</th> <th>df</th> <th>Sig.</th> <th>Statistic</th> <th>df</th> <th>Sig.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JARAK</td> <td>,165</td> <td>11</td> <td>,200*</td> <td>,895</td> <td>11</td> <td>,161</td> </tr> <tr> <td>SUHU</td> <td>,342</td> <td>11</td> <td>,001</td> <td>,686</td> <td>11</td> <td>,000</td> </tr> <tr> <td>PH</td> <td>,331</td> <td>11</td> <td>,001</td> <td>,599</td> <td>11</td> <td>,000</td> </tr> <tr> <td>KLOR</td> <td>,324</td> <td>11</td> <td>,002</td> <td>,686</td> <td>11</td> <td>,000</td> </tr> </tbody> </table> <p>*. This is a lower bound of the true significance. a. Lilliefors Significance Correction</p>		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	JARAK	,165	11	,200*	,895	11	,161	SUHU	,342	11	,001	,686	11	,000	PH	,331	11	,001	,599	11	,000	KLOR	,324	11	,002	,686	11	,000	<p>Hasil uji statistik <i>normalitas</i> semua parameter</p>
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk																																					
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.																																				
JARAK	,165	11	,200*	,895	11	,161																																				
SUHU	,342	11	,001	,686	11	,000																																				
PH	,331	11	,001	,599	11	,000																																				
KLOR	,324	11	,002	,686	11	,000																																				
<p style="text-align: center;"><b>Correlations</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>KLOR</th> <th>SUHU</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">KLOR</td> <td>Correlation Coefficient</td> <td>1,000</td> <td>-,492</td> </tr> <tr> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>.</td> <td>,124</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">SUHU</td> <td>Correlation Coefficient</td> <td>-,492</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>,124</td> <td>.</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table>			KLOR	SUHU	KLOR	Correlation Coefficient	1,000	-,492	Sig. (2-tailed)	.	,124	N	11	11	SUHU	Correlation Coefficient	-,492	1,000	Sig. (2-tailed)	,124	.	N	11	11	<p>Hasil uji korelasi parameter suhu dan klor</p>																	
		KLOR	SUHU																																							
KLOR	Correlation Coefficient	1,000	-,492																																							
	Sig. (2-tailed)	.	,124																																							
	N	11	11																																							
SUHU	Correlation Coefficient	-,492	1,000																																							
	Sig. (2-tailed)	,124	.																																							
	N	11	11																																							
<p style="text-align: center;"><b>Correlations</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>KLOR</th> <th>PH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Spearman's rho</td> <td>KLOR</td> <td>Correlation Coefficient</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>,075</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">PH</td> <td>Correlation Coefficient</td> <td>,075</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>,827</td> <td>.</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table>			KLOR	PH	Spearman's rho	KLOR	Correlation Coefficient	1,000		Sig. (2-tailed)	,075		N	11	PH	Correlation Coefficient	,075	1,000	Sig. (2-tailed)	,827	.	N	11	11	<p>Hasil uji statistik parameter pH dan suhu</p>																	
		KLOR	PH																																							
Spearman's rho	KLOR	Correlation Coefficient	1,000																																							
		Sig. (2-tailed)	,075																																							
		N	11																																							
PH	Correlation Coefficient	,075	1,000																																							
	Sig. (2-tailed)	,827	.																																							
	N	11	11																																							
<p style="text-align: center;"><b>Correlations</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>KLOR</th> <th>JARAK</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">KLOR</td> <td>Pearson Correlation</td> <td>1</td> <td>-,884**</td> </tr> <tr> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>.</td> <td>,000</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">JARAK</td> <td>Pearson Correlation</td> <td>-,884**</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Sig. (2-tailed)</td> <td>,000</td> <td>.</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table> <p>** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).</p>			KLOR	JARAK	KLOR	Pearson Correlation	1	-,884**	Sig. (2-tailed)	.	,000	N	11	11	JARAK	Pearson Correlation	-,884**	1	Sig. (2-tailed)	,000	.	N	11	11	<p>Hasil uji statistik antara parameter jarak dan klor</p>																	
		KLOR	JARAK																																							
KLOR	Pearson Correlation	1	-,884**																																							
	Sig. (2-tailed)	.	,000																																							
	N	11	11																																							
JARAK	Pearson Correlation	-,884**	1																																							
	Sig. (2-tailed)	,000	.																																							
	N	11	11																																							

**LAMPIRAN 3** Data Hasil Simulasi  
*EPANET 2.2*

**1. Konsentrasi Klor pada Node  
dengan *EPANET 2.2***

Node IDE	Chlorine (mg/L)
Junc N1	0,84
Junc N2	0,84
Junc N3	0,84
Junc N4	0,71
Junc N5	0,71
Junc N7	0,7
Junc N8	0,33
Junc N9	0,27
Junc N11	0,27
Junc N13	0,69
Junc N14	0,69
Junc N15	0,68
Junc N16	0,65
Junc N17	0,47
Junc N18	0,42
Junc N19	0,27
Junc N20	0,22
Junc N21	0,22
Junc N22	0,56
Junc N23	0,54
Junc N24	0,52
Junc N25	0,57

Junc N26	0,56
Junc N27	0,56
Junc N28	0,51
Junc N29	0,51
Junc N30	0,56
Junc N31	0,33
Junc N32	0,33
Junc N33	0,33
Junc N34	0,69
Junc N35	0,64
Junc N36	0,64
Junc N37	0,69
Junc N38	0,69
Junc N39	0,69
Junc N40	0,67
Junc N41	0,67
Junc N42	0,67
Junc N43	0,66
Junc N44	0
Junc N45	0,38
Junc N46	0,38
Junc N47	0,37
Junc N48	0,69
Junc N49	0
Junc N50	0
Junc N52	0
Junc N53	0
Junc N61	0,69

Junc N62	0,69
Junc N69	0,69
Junc N70	0,69
Junc N71	0,64
Junc N73	0,63
Junc N74	0,69
Junc N76	0,69
Junc N77	0,69
Junc N78	0,69
Junc N79	0,69
Junc N90	0,69
Junc N92	0,69
Junc N93	0,69
Junc N94	0,69
Junc N95	0,69
Junc N96	0,69
Junc N97	0,69
Junc N98	0,69
Junc N99	0,48
Junc N100	0,47
Junc N101	0,66
Junc N102	0
Junc N105	0,04
Junc N106	0,25
Junc N107	0,39
Junc N108	0,44
Junc N109	0,44
Junc N110	0,49

Junc N111	0,49
Junc N112	0,5
Junc N113	0,37
Junc N114	0,35
Junc N115	0,35
Junc N116	0
Junc N117	0
Junc N118	0
Junc N119	0
Junc N121	0
Junc N122	0
Junc N104	0,04
Junc N134	0,69
Resvr R1	0,84
Resvr R2	0

## 2. Konsentrasi Klor dan Kecepatan Aliran Pada pipa pada Epanet 2.2

Link ID	Velocity (m/s)	Chlorine (mg/L)	Status
Pipe P1	1,58	0,84	Open
Pipe P2	1,1	0,84	Open
Pipe P3	1,58	0,83	Open
Pipe P4	2,46	0,71	Open
Pipe P5	2,46	0,71	Open
Pipe P7	0,04	0,53	Open
Pipe P9	0,15	0,3	Open
Pipe P11	0,57	0,27	Open
Pipe P6	2,46	0,69	Open
Pipe P12	0,54	0,69	Open
Pipe P20	0,84	0,69	Open
Pipe P36	1,5	0,68	Open
Pipe P37	0,37	0,61	Open
Pipe P38	0,02	0,47	Open
Pipe P53	0,04	0,35	Open
Pipe P55	0,04	0,26	Open
Pipe P56	0,92	0,22	Open
Pipe P35	1,13	0,64	Open
Pipe P34	1,13	0,54	Open
Pipe P40	2,28	0,54	Open
Pipe P41	2,62	0,52	Open
Pipe P43	4,73	0,57	Open
Pipe P44	2,37	0,56	Open
Pipe P45	1,05	0,54	Open
Pipe P46	1,32	0,56	Open
Pipe P50	2,37	0,51	Open
Pipe P47	2,36	0,56	Open
Pipe P51	0,03	0,44	Open
Pipe P52	0,1	0,33	Open
Pipe P14	0,64	0,33	Open
Pipe P48	2,35	0,56	Open
Pipe P13	5,76	0,69	Open
Pipe P28	1,82	0,69	Open
Pipe P29	2,18	0,64	Open
Pipe P15	5,11	0,69	Open

Pipe P21	2,2	0,69	Open
Pipe P22	0,81	0,69	Open
Pipe P23	0,8	0,69	Open
Pipe P24	1,38	0,67	Open
Pipe P25	1,19	0,67	Open
Pipe P26	1,19	0,66	Open
Pipe P27	0,0001	0	Open
Pipe P39	0,36	0,4	Open
Pipe P31	1,15	0,64	Open
Pipe P30	1,03	0,64	Open
Pipe P57	0,2	0,5	Open
Pipe P42	2,11	0,66	Open
Pipe P75	0,04	0,59	Open
Pipe P88	0,07	0,38	Open
Pipe P83	0,41	0,38	Open
Pipe P59	2,47	0,69	Open
Pipe P76	0,02	0,16	Open
Pipe P78	0,08	0	Open
Pipe P80	0,08	0	Open
Pipe P115	0,51	0	Open
Pipe P63	2,47	0,69	Open
Pipe P15.5	3,7	0,69	Open
Pipe P16	4,59	0,69	Open
Pipe P17	4,59	0,69	Open
Pipe P82	2,02	0,69	Open
Pipe P84	0,07	0,69	Open
Pipe P85	0,95	0,64	Open
Pipe P82.5	1,98	0,69	Open
Pipe P19	4,26	0,69	Open
Pipe P19.5	2,68	0,69	Open
Pipe P91	2,47	0,69	Open
Pipe P86	0,88	0,69	Open
Pipe P107	3,07	0,69	Open
Pipe P93	6,38	0,69	Open
Pipe P32	4,19	0,69	Open
Pipe P33	2,19	0,69	Open
Pipe P109	3,07	0,69	Open
Pipe P128	0,06	0,69	Open
Pipe P110	3,11	0,69	Open
Pipe P94	2,93	0,68	Open

Pipe P105	0,01	0,11	Open
Pipe P103	0,04	0,32	Open
Pipe P101	0,02	0,42	Open
Pipe P102	0,01	0,43	Open
Pipe P100	1,52	0,44	Open
Pipe P95	0,06	0,18	Open
Pipe P99	1,54	0,48	Open
Pipe P96	2,27	0,49	Open
Pipe P98	9,06	0,49	Open
Pipe P97	10,6	0,5	Open
Pipe P58.5	0,04	0,44	Open
Pipe P49	0,15	0,36	Open
Pipe P85.5	0,6	0,35	Open
Pipe P89	2,97	0,69	Open
Pipe P90	2,97	0,69	Open
Pipe P111	0,01	0,04	Open
Pipe P112	0,0001	0	Open
Pipe P132	0,03	0	Open
Pipe P113	0,16	0	Open
Pipe P114	0,0003	0	Open
Pipe P114.5	0,0001	0	Open
Pipe P130	0,14	0,64	Open
Pipe P131	0,89	0,48	Open
Pipe P104	0,01	0	Open
Pipe P129	0,51	0,04	Open
Pipe P134	0,04	0,17	Open
Pipe P137	4,19	0,69	Open
Pipe P138	4,72	0,51	Open
Pipe P140	3,45	0,69	Open
Pipe P141	0,77	0,69	Open
Pipe P8	1,58	0,84	Open
Pipe P10	4,22	0,69	Open

## LAMPIRAN 4 Data Perhitungan

### 1. Perhitungan debit

Contoh:  $Q = \frac{V}{t}$

$$= 0.6 \text{ L} / 2,10 \text{ s}$$
$$= 0,29 \text{ L/s}$$

Dimana: Q = debit (L/s)  
V = volume (L)  
t = waktu (s)

### 2. Perhitungan Koefisien Penurunan Klor

Dimana:

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

C0= Konsentrasi sisa klorin pada

t=0 (mg/L)

K = Konstanta penurunan V = Kecepatan (m/s)

L= Jarak aliran (m)

$$k = \frac{\ln C_e - \ln C_0}{L \cdot v}$$

$$k = \frac{0.29 - 0.60}{6682 \cdot 0.57}$$
$$= -0,00000814$$

### 3. Perhitungan nilai RMSE

Dimana: X = data lapangan

Y = data prediksi

n = banyaknya data

$\Sigma$  = total penjumlahan data

$$= \sqrt{\frac{\sum(X - Y)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum(-1,83)^2}{11}}$$


$$= \sqrt{\frac{0,75}{11}}$$

$$= \sqrt{0,07}$$

$$= 0,264$$




LAMPIRAN 5 Laporan Hasil Pengujian Klor



**PEMERINTAH ACEH  
DINAS KESEHATAN  
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN  
DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN**

Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh  
E-mail: labkes\_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com



**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**


No Order : 1035 - 1040  
 No. Sampel : 869 - 874 / 1 - 6 / XI / 2021  
 Nama Pengirim : Doni Ramadhan  
 Alamat : -  
 Petugas Pengambil : Doni Ramadhan  
 Tanggal Ambil : 01 Desember 2021 Jam : -  
 Tanggal Terima : 01 Desember 2021 Jam : 14.30 Wib  
 Tanggal Analisa : 08 Desember 2021  
 Jenis sampel : Air Minum  
 Lokasi : PDAM Tirta Daroy Kec. Kuta Alam  
 Pengawet : Tanpa Pengawet  
 Baku Mutu : Per.Men.Kes.RI.No.492/MenKes/Per/IV/2010  
**Persyaratan Kualitas Air Minum**


No	Kode Sampel	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuhan Metode
1	Titik 2	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,29	Merck 1.00599.0001
2	Titik 3	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,23	
3	Titik 4	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,14	
4	Titik 5	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,07	
5	Titik 6	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,06	
6	Titik 7	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,05	

FR.IV/AD.38 Rev. 0

**Catatan :**

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan Permenkes RI.No.492 /Per / IV /2010
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes

Banda Aceh, 16 Desember 2021  
 Penanggung Jawab Teknis  
  
**Rekha Melati, SKM**  
 Nip. 19720602 199403 2 003





PEMERINTAH ACEH  
DINAS KESEHATAN  
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN  
DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN

Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh  
E-mail: labkes\_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com



**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

No Order : 1042 - 1045  
No. Sampel : 875 - 878 / 1 - 4 / XI / 2021  
Nama Pengirim : Doni Ramadhan  
Alamat : -  
Petugas Pengambil : Doni Ramadhan  
Tanggal Ambil : 02 Desember 2021 Jam : -  
Tanggal Terima : 02 Desember 2021 Jam : 10.35 Wib  
Tanggal Analisa : 08 Desember 2021  
Jenis sampel : Air Minum ( PDAM )  
Lokasi : Jl. Syiah Kuala Gp. Alue Naga Kec. Syiah Kuala  
Pengawet : Tanpa Pengawet  
Baku Mutu : **Per.Men.Kes.RI.No.492/MenKes/Per/IV/2010**  
**Persyaratan Kualitas Air Minum**

No	Kode Sampel	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	Titik 10	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,07	Merck 1.00599.0001
2	Titik 9	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,07	
3	Titik 8	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,04	
4	Titik 11	Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	5	0,06	

FR.IV/AD.38 Rev. 0

**Catatan :**

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan Permenkes RI.No.492 /Per / IV /2010
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes

Banda Aceh, 16 Desember 2021  
Penanggung Jawab Teknis  
  
**Rekha Melati, SKM**  
Nip. 19720602 199403 2 003

## LAMPIRAN 6 Izin Penelitian

	<b>PEMERINTAH KOTA BANDA ACEH</b> <b>PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM TIRTA DAROY</b>									
Jl. N. Tgk. H. M. Daud Beureueh Stadion Lampineung Tel. (0651) 21284 - 21396 Banda Aceh 23126										
Banda Aceh, 14 Desember 2021										
Nomor : 1405/07/PDAM/2021	Yang Terhormat :									
Lamp : -	Ketua Prodi Teknik Lingkungan									
Perihal : Memberi Izin Pengambilan Data	Prodi Teknik Lingkungan Fak. Sains & Teknologi									
	Universitas Islam Negeri Ar-Raniry									
	Di _____									
	Tempat _____									
Dengan Hormat,										
Sehubungan dengan surat Nomor : B-473/Un.08/TL/PP.00.9/09/2021, Tanggal 09 September 2021 Perihal Pengambilan Data, untuk itu kami sampaikan kepada Saudara bahwa PD. Air Minum Tirta Daroy Kota Banda Aceh, tidak keberatan memberi Izin Pengambilan Data, kepada yang namanya tersebut dibawah ini :										
<table border="1"><thead><tr><th>NO</th><th>NAMA</th><th>NIM</th><th>JURUSAN/PRODI</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.</td><td>Doni Ramadhan</td><td>150702044</td><td>Teknik Lingkungan Fak. Sains &amp; Teknologi</td></tr></tbody></table>	NO	NAMA	NIM	JURUSAN/PRODI	1.	Doni Ramadhan	150702044	Teknik Lingkungan Fak. Sains & Teknologi		
NO	NAMA	NIM	JURUSAN/PRODI							
1.	Doni Ramadhan	150702044	Teknik Lingkungan Fak. Sains & Teknologi							
Demikian untuk dapat dimaklumi, atas perhatian dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.										
	<p>Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Daroy Kota Banda Aceh Direktur Adm. dan Keuangan</p>  <p><b>[SAMIRUL FUADI, SE.]</b></p>									
<b>Tembusan:</b>										
1. Kepala Bagian Produksi										
2. Yang Bersangkutan										
3. Arsip.										