

## EVALUASI KEBERADAAN SISA KLOOR BEBAS DI JARINGAN DISTRIBUSI IPA SUNGAI LULUT PDAM BANDARMASIH

*Elma Sofia ,Rony Riduan, dan Chairul Abdi*

*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat  
Jl A. Yani Km.36,5 Banjarbaru Kalimantan Selatan, Indonesia  
E-mail: sofia.elma1721@gmail.com*

### ABSTRAK

*Disinfektan yang sering sekali digunakan adalah senyawa klor. Dari khlorinasi air mengakibatkan adanya residu dari klor. Residu klor terdapat dalam 2 bentuk yaitu residu klor terikat, dan residu klor bebas. Menurut Permenkes No.492/Menkes/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, keberadaan senyawa klor bebas dalam distribusi jaringan yang diperbolehkan adalah 0,2 – 0,5 mg/l. Penelitian ini bertujuan untuk mendiskripsikan pengaruh konsentrasi injeksi klor terhadap sisa klor bebas di pelanggan dan pengaruh jarak distribusi pada sistem jaringan distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. Penelitian menggunakan software EPANET 2.0 untuk mengetahui kondisi Eksisting serta simulasi jaringan distribusi air PDAM Bandarmasih. Pada simulasi jika menggunakan injeksi konsentrasi klor di awal distribusi air sebesar 0,8 mg/l maka akan dihasilkan sisa klor yang memenuhi batas sisa klor yang diijinkan yaitu 0,2-0,5 mg/l namun itu hanya terjadi pada pelanggan yang dekat dengan reservoir. Untuk pelanggan yang jarak distribusi air cukup jauh dari reservoir sisa klor akan habis pada sistem jaringan sehingga sisa klor yang dihasilkan pada pelanggan yang jauh dari reservoir kurang dari 0,2 mg/l. Hal ini dapat berdampak negatif karena apabila sisa klor kurang dari 0,2 mg/l pada pelanggan maka bakteri patogen yang berada di dalam air masih tersisa. Sehingga dapat disimpulkan, sisa konsentrasi klor di jaringan distribusi bergantung pada injeksi konsentrasi klor di awal distribusi dan jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan. Semakin besar injeksi konsentrasi klor maka semakin besar pula sisa klor yang dihasilkan di air yang diterima oleh pelanggan. Semakin jauh jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan maka semakin kecil sisa klor yang sampai ke pelanggan.*

Kata kunci : konsentrasi injeksi klor, sisa klor bebas, jarak distribusi air

### ABSTRACT

*Commonly used disinfectant is chlorine compound. Water chlorination is resulting chlorine residue. Chlorine residue occur in two forms, there are bound chlorine residue and free chlorine residue. Accordance with Permenkes 492/Menkes/PER/IV/2010 about clean water quality, free chlorine compound that allowed in the distribution network is 0.2 to 0.5 mg/l. This study aims were to describe the effect of chlorine injection concentration toward free chlorine residue on customer and the effect of distribution distance in distribution network system IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. This study used EPANET 2.0 software to determine the Existing condition and PDAM Bandarmasih water distribution network simulation. The result of this simulation obtained, if used chlorine injection concentration in the initial of water distribution amount of 0.8 mg/l, then it will produced chlorine residue which meet the allowable limit of chlorine that is 0.2 to 0.5 mg/l, but it just happens to customer who close to reservoir. For customer who far from water distribution reservoir, chlorine residue will depleted in the network system, so that chlorine residue*

*that produced on customer who far from reservoir is less than 0.2 mg/l. This result also has negative effect because if chlorine residue on customer less than 0.2 mg/l, then the bacterial pathogen in the water still remain. It can be concluded, chlorine concentration residue in distribution network depend on chlorine concentration injection in the initial distribution and the distance of water distribution from reservoir to customer. The greater of chlorine concentration injection, the greater resulting chlorine residue in the water that received by customer. Farther the distance of water distribution from reservoir to customer, the smaller chlorine residue to customer.*

Keywords: injection concentration of chlorine, free chlorine residual, distance water distribution

## 1. PENDAHULUAN

Instalasi Pengolahan Air merupakan salah satu infrastruktur yang berperan dalam menyediakan air bersih untuk masyarakat. Infrastruktur kota Banjarmasin yang berperan dalam hal tersebut adalah PDAM Bandarmasih. PDAM Bandarmasih menggunakan beberapa tahapan pengolahan yaitu koagulasi-flokulasi, filtrasi, sedimentasi dan lain lain sebagainya untuk menghasilkan air bersih. Namun, proses-proses tersebut hanya berperan dalam menurunkan kekeruhan dan kandungan BOD-COD serta kandungan TSS dalam air baku sehingga tidak menjamin hilangnya bakteri patogen dalam air bersih.

Salah satu cara menghilangkan bakteri patogen dalam air bersih yaitu dengan desinfeksi. Disinfektan yang sering sekali digunakan adalah senyawa klor. Senyawa ini sering dipilih karena biayanya yang murah, tidak berbau, stabil aman. Dari khlorinasi air mengakibatkan adanya residu dari klor. Residu klor terdapat dalam 2 bentuk yaitu residu klor terikat, dan residu klor bebas. Residu klor terikat, khlorin diikat secara alamiah dalam air. Sedangkan klor bebas, bila klor ditambahkan secukupnya untuk memproduksi klor bebas. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika menggunakan senyawa klor. Menurut Permenkes No.492/Menkes/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, keberadaan senyawa klor bebas dalam distribusi jaringan yang diperbolehkan adalah 0,2 – 0,5 mg/l. Hal ini perlu diperhatikan karena jika keberadaan sisa klor bebas didalam jaringan distribusi kurang dari 0,2 mg/l maka kemungkinan menyebabkan kemampuan disinfektan berkurang sehingga jumlah patogen pun dapat meningkat. Sedangkan jika sisa klor bebas di dalam jaringan distribusi lebih dari 0,5 mg/l maka air baku akan bersifat karsinogenik dan toksik terhadap pelanggan yang mengkonsumsi air tersebut.

Hasil pemeriksaan kualitas air di jaringan perpipaan PDAM Bandarmasih yang dilakukan oleh Departemen Unit Produksi PDAM Bandarmasih pada bulan Februari 2015 ditemukan daerah yang sisa klor melebihi 0,2-0,5 mg/l yaitu pada daerah Jl. Martapura Lama Sungai Lulut dengan sisa klor 0,7 mg/l (PDAM, 2014). Sehingga diperlukannya simulasi kondisi eksisting jaringan distribusi perpipaan dengan menggunakan *software* EPANET. Epanet merupakan program komputer yang dapat menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam haringan pipa. Daerah pelayanan IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih menjadi pilihan lokasi penelitian karena untuk daerah tersebut mereka mendapatkan air dari Intake Sungai Lulut yang air didistribusikan sebagian besar hanya untuk daerah di sekitar Sungai Lulut saja. Air dialirkan ke IPA Sungai Lulut secara pompa. IPA Sungai Lulut menggunakan klor serta kaporit untuk disinfektan. Berdasarkan latar belakang diatas maka diambil penelitian *Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih.*

Desinfeksi adalah metode yang digunakan untuk inaktivasi (membunuh) mikroorganisme patogen yang terdapat dalam air. Desinfeksi dilakukan untuk membunuh mikroorganisme patogen baik dari instalasi pengolahan atau yang masuk ke dalam jaringan sistem distribusi (Ali,2010). Menurut Hadi,2000 dalam Ali, 2010 desinfeksi harus memenuhi persyaratan yaitu :

1. Dapat membunuh berbagai jenis patogen yang ada dalam air dalam waktu dan suhu tertentu
2. Tidak bersifat racun terhadap manusia dan hewan
3. Tidak berbau dan berasa
4. Biaya murah
5. Mudah dalam penyimpanan dan aman
6. Kadar keberadaannya dalam air mudah dianalisa dan diketahui.

Menurut Yusuf, 2005 dalam Ali, 2010 ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan desinfeksi dalam membunuh mikroorganisme patogen yaitu konsentrasi desinfektan, jenis desinfektan yang digunakan, waktu kontak, mikroorganisme, dan temperatur.

1. Konsentrasi Desinfektan  
Semakin besar konsentrasi desinfektan yang digunakan maka akan semakin besar pula laju desinfeksi.
  2. Jenis Desinfektan  
Jenis desinfektan yang digunakan berfungsi untuk menentukan nilai koefisien pemusnahan spesifik.
  3. Waktu Kontak  
Waktu kontak adalah waktu yang diperlukan desinfektan untuk membunuh mikroorganisme.
  4. Mikroorganisme  
Jenis dan jumlah mikroorganisme yang ada mempengaruhi jenis dan konsentrasi desinfektan yang diperlukan.
  5. Temperatur  
Temperatur yang tinggi akan mempercepat kematian mikroorganisme.
- Terdapat beberapa macam bahan yang dapat digunakan untuk desinfeksi salah satunya yaitu senyawa klor. Bahan-bahan desinfeksi yang mengandung senyawa klor antara lain :

**Tabel 1.** Jenis dan Sifat Bahan Desinfeksi

No	Jenis Desinfektan	Rumus Kimia	% Klor	Bentuk	Kandungan SS
1	Liquid Chlorine	Cl <sub>2</sub>	100	Gas	Tidak Ada
2	Sodium	NaOCl	3-5	Padat	Tidak Ada
3	Hypochlorite	Ca(OCl) <sub>2</sub>	65-70	Padat	Ada
4	Calcium	CaOCl <sub>2</sub>	25-37	Padat	Ada
5	Hypochlorite Chloride of Lime Chloride Dioksida	ClO <sub>2</sub>	263	Bubuk	Tidak Ada

Sumber : R.Mursid, 1991 dalam Ali, 2010

Dalam tahap desinfeksi pengolahan air, hal yang perlu diperhatikan yaitu dosis klor dan konsentrasi maksimum klor (Mursid,1991 dalam Ali,2010).

1. Kebutuhan Klor untuk Desinfeksi

Menurut Ali,2010 kebutuhan klor adalah jumlah klor yang dibutuhkan untuk mencapai break point chlorinasi. Banyaknya klor yang dibutuhkan tergantung pada kualitas pasokan air baku yang digunakan. Hal itu disebabkan karena adanya fluktuasi kualitas air dari waktu ke waktu sehingga jumlah klor yang dibutuhkan juga berbeda dari waktu ke waktu.

**Tabel 2.** Kadar Klor yang dibutuhkan 130 Perusahaan Air Minum di Amerika Serikat

	<b>Rata-rata</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Minimum</b>
Kebutuhan Residu Klor Aktif*	3	65	0
Waktu Kontak**	1,2	7	0-0,04
	45	720	0

Sumber: Alaerts dan Santika, 1996 dalam Ali,2010

\*Sebelum masuk distribusi air minum

\*\* Termasuk waktu detensi dalam *clear-well*

## 2. Konsentrasi Maksimum dalam Desinfeksi

Kemampuan klor sebagai bahan desinfeksi dalam oksidasi mempunyai batas konsentrasi yang masih aman bagi tubuh manusia, sehingga jika terjadi kelebihan dosis pembubuhan klor akan berpengaruh terhadap bau, rasa dan kesehatan. Beberapa pengaruh penggunaan klor pada berbagai tingkat konsentrasi yaitu :

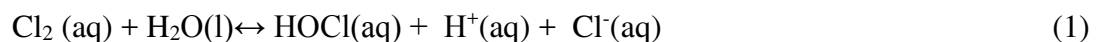
**Tabel 3.** Pengaruh Klor Bebas Pada Beberapa Tingkat Konsentrasi

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 : R.Mursid, 1991 dalam Ali, 2010

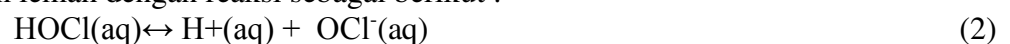
Klorinasi merupakan salah satu bentuk pengolahan air yang bertujuan untuk membunuh kuman dan mengoksidasi bahan-bahan kimia dalam air. Klorinasi (*chlorination*) adalah proses pemberian klorin ke dalam air yang telah menjalani proses filtrasi dan merupakan langkah yang maju dalam proses purifikasi air.

Reaksi klor dengan air akan menghasilkan Asam Hipoklorit (HOCl) dengan reaksi sebagai berikut :

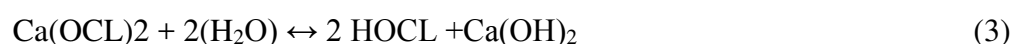


$$K_{eq} = 4 \times 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]}{[\text{Cl}_2]}$$

HOCl merupakan asam lemah dengan reaksi sebagai berikut :



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



Pada reaksi (1) terjadi reaksi antara gas klor dengan air yang mengakibatkan pH air akan menurun karena dihasilkan ion  $H^+$ , sebaliknya pada reaksi (3) terjadi reaksi antara kaporit dengan air, pH air akan naik karena dihasilkan  $Ca(OH)_2$  yang bersifat basa (alkalis).

$HOCl$  dan  $OCl^-$  adalah klor aktif atau disebut klor bebas.  $HOCl$  merupakan sisa klor bebas yang paling efektif sebagai desinfektan dibandingkan dengan  $OCl^-$  sebagai bentuk klor bebas yang kedua. Sedangkan  $Cl^-$  merupakan klor yang tidak aktif.  $Cl_2$ ,  $HOCl$ , dan  $OCl^-$  merupakan sisa klor aktif yang bersifat toksik bagi kuman. Daya bunuh  $HOCl$  terhadap golongan coliform kurang lebih 80-100 kali lebih kuat daripada  $OCl^-$ , keaktifannya tergantung pH dan suhu.

Kualitas desinfektan dari asam hipoklorit akan memikat pada pH yang rendah yaitu dibawah 7,5 (Enry, 1989 dalam Sugiarti dkk, 2011). Pada pH sampai dengan 6,7 pada umumnya 90% klorin akan membentuk  $HOCl$  (Sterrit, 1994 dalam Sugiarti dkk, 2011).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Asrydin (2012), penurunan kadar sisa klor bebas akan berkurang selama perjalanan air sampai ke konsumen. Hal itu disebabkan oleh daya kerja klor aktif selama perjalanan, kontak dengan mikroorganisme penyebab kontaminasi air dan jaringan pipa yang tidak efisien karena terjadi kehilangan air yang disebabkan oleh kebocoran. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Syahputra (2012), diketahui bahwa terdapat kecenderungan semakin jauh antara reservoir dengan konsumen, maka semakin kecil atau semakin sedikit sisa klor bebas.

Berkurangnya konsentrasi sisa klor bebas selama mengalir pada jaringan pipa distribusi disebabkan oleh dua reaksi, yaitu :

a. *Bulk Reaction*

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

b. *Pipe Wall Reaction*

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

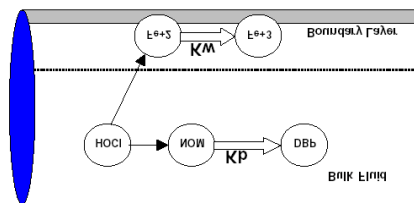
Pada penelitian dilakukan oleh Syahputra (2012) menunjukkan adanya kecenderungan semakin jauh jarak antara reservoir dengan konsumen, maka semakin kecil atau sedikit sisa klor yang dipengaruhi dua faktor yaitu *bulk reaction* dan *pipe wall reaction*. *Bulk reaction* diukur melalui pengujian laboratorium terhadap sampel air pada jaringan distribusi air minum di Perumahan BSB Jatisari sedangkan *pipe wall reaction* dapat dilihat dari jenis pipa yang digunakan dalam jaringan distribusi air minum di Perumahan BSB Jatisari adalah pipa GI (*Galvanis Iron*) dan PVC (*Polyvinyl Chloride*). Pipa GI terbuat dari besi sehingga mudah terkorosi, sedangkan pipa PVC terbuat dari bahan plastik. Sisa klor yang terlalu tinggi dalam jaringan pipa dapat menyebabkan terjadinya korosi pada pipa. pH air yang terlalu asam juga dapat menyebabkan korosi. Untuk membuktikan pengaruh jarak Syahputra (2012) menggunakan uji statistik sehingga menghasilkan konsentrasi sisa chlor dinyatakan dengan persamaan  $Y = -0,002X + 1,17$ . Hasil uji regresi diperoleh  $R^2 = 0,570$ . Y merupakan konsentrasi sisa chlor (mg/L), dan X adalah jarak dari *reservoir* ke konsumen (meter).

EPANET dapat digunakan dalam simulasi kualitas air. Dalam simulasi kualitas air oleh EPANET digunakan pendekatan waktu *Lagrangian* untuk mengetahui nasib dari bagian air selama bergerak sepanjang pipa dan bercampur bersama pada junction diantara langkah waktu. Langkah waktu dari

kualitas air secara tipikal lebih pendek dari langkah waktu perhitungan hidrolis (misal menit dibandingkan dengan jam) untuk mengakomodasi waktu yang pendek dari perjalanan air yang dapat muncul dalam pipa.

Untuk setiap langkah waktu kualitas air, kandungan dari setiap segmen bergantung pada reaksi, akumulasi kandungan tetap bergantung total massa dan volume aliran yang memasuki setiap node, dan posisi dari segment yang diperbaharui. Konsentrasi baru pada node dihitung, termasuk kontribusi dari berbagai sumber eksternal. Konsentrasi tangki penyimpanan yang diperbaharui bergantung pada jenis dari model *mixing* yang digunakan. Akhirnya, segmen baru akan dibuat pada akhir dari setiap *link* yang menerima *inflow* dari sebuah node jika kualitas node baru berbeda dari *link* pada segmen terakhir.

EPANET juga dapat melacak perkembangan atau peluruhan substansi dalam reaksi yang berjalan melalui sistem distribusi. Untuk melakukan itu membutuhkan laju dari reaksi substansi dan bagaimana reaksi itu bergantung pada konsentrasi substansi. Reaksi dapat muncul diantara aliran *bulk* dan material sepanjang dinding pipa.



**Gambar 1** Zone Reaksi dalam pipa  
Sumber : EPANET User Manual

Dalam contoh Klor bebas (HOCl) diperlihatkan bereaksi dengan kandunga organik alami (*Natural Organic Matter*[NOM]) dalam fase *bulk* dan juga berjalan melalui batas-pada dinding pipa untuk mengoksidasi iron (Fe) lepas dari pipa yang berkarat. Reaksi fluida *Bulk* dapat juga muncul dalam tangki. EPANET menyediakan model untuk menyelesaikan reaksi tersebut secara terpisah.

Koefisien *Bulk Reaction* biasanya bertambah dengan pertambahan temperatur. *Me-running* beberapa botol test pada temperatur yang berbeda akan menghasilkan keputusan yang akurat tentang bagaimana laju koefisien bervariasi dengan temperatur.

Konstanta penurunan sisa klor pada jaringan distribusi dapat dicari dengan rumus :

$$\ln c_e = \ln c_0 - \frac{k}{v}L \quad (4)$$

dimana :

$C_e$  = Konsentrasi sisa klor pada jarak tertentu (mg/l)

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

$K$  = Konstanta penurunan

$V$  = Kecepatan (m/s)

$L$  = Jarak aliran (m)

EPANET dapat juga melacak *Wall Reaction*. Laju reaksi kualitas air muncul pada dinding pipa dapat bergantung pada konsentrasi pada aliran *bulk* menggunakan ekspresi bentuk :

$$R = \left(\frac{A}{V}\right) K_w C^a \quad (5)$$

dimana :

$K_w$  = koefisien laju reaksi dinding

$\left(\frac{A}{V}\right)$  = luas area permukaan terhadap pipa

(sebanding dengan 4 dibagi diameter pipa).

Menjelaskan tentang konversi reaksi massa per unit volume, EPANET membatasi pilihan orde reaksi dinding 0 atau 1, sehingga unit  $K_w$  adalah massa/area/waktu atau panjang/waktu. Sementara  $K_b$ ,  $K_w$  harus disuplai ke model program. Nilai orde pertama  $K_w$  dapat memiliki rentang dari 0 hingga 5 ft/hari.

$K_w$  seharusnya diatur untuk berbagai batasan massa dalam laju reaktan dan produk diantara aliran bulk dan dinding EPANET melakukan semuanya secara otomatis, berdasarkan pengaturan pada skala molekular dari substansi yang dimodelkan dan pada angka *reynoldl*.

Koefisien *Wall Reaction* dapat bergantung pada temperatur dan dapat juga berkorelasi dengan umur dan material pipa. Seperti telah diketahui usia pipa logam dan kekasaran saling bergantung dalam menambah produksi karat pada dinding pipa. Pertambahan dapam kekasaran membuat C-faktor pada *Hazen William* rendah atau Koefisien kekasaran *Darcy Weisbach* naik, menyebabkan *headloss* karena kekasaran pipa tinggi pada aliran yang melalui pipa.

Ada beberapa bukti yang menyebabkan proses yang sama yang dapat meningkatkan kekasaran pipa karena usia pipa, juga bergantung kepada meningkatnya reaktifitas dari dinding untuk beberapa bahan kimia seperti klor dan beberapa desinfektan. EPANET dapat membuat setiap harga koefiesn pipa  $K_w$  berfungsi untuk menjelaskan kekasaran pipa. Perbedaan fungsi diaplikasikan bergantung pada formula yang digunakan untuk menghitung *headloass* :

**Tabel 4.** Koefisien Laju Reaksi Dinding

<i>Headloss Formula</i>	<i>Wall Reaction Formula</i>
<i>Hazen – Williams</i>	$K_w = \frac{F}{C}$
<i>Darcy – Weisbach</i>	$K_w = - \frac{F}{\log\left(\frac{e}{d}\right)}$
<i>Chezy – Manning</i>	$K_w = F.n$

Sumber : EPANET User Manual

dimana :

$C$  = Faktor C Hazen-Williams

$e$  = Kekasaran Darcy-Weisbach

$d$  = Diameter pipa

$n$  = Koefisien kekasaran Manning

$F$  = Koefisien Kekasaran pipa –reaksi dinding.

Koefisien  $F$  harus dibangun dari pengukuran nyata di lapangan dan akan memiliki arti yang berbeda bergantung pada persamaan *headloss* yang digunakan. Keunggulan menggunakan pendekatan ini adalah hanya memerlukan parameter tunggal  $F$ , untuk membolehkan koefisien reaksi dinding bervariasi dalam jaringan.

Sebagai tambahan dalam pengaliran kimia, EPANET dapat juga memodelkan perubahan pada usia dari air yang melewati sistem distribusi. *Water Age* adalah waktu yang dihabiskan oleh bagian dari air dalam jaringan. Air yang “baru” memasuki jaringan melalui reservoir atau sumber node dengan usia nol. *Water Age* menyediakan kemudahan, perhitungan yang tidak spesifik dari keseluruhan kualitas dari air minum. Dalam hal ini, EPANET menganggap usia sebagai konstituen yang tumbuh mengikuti orde kinetik-0 dengan konstanta laju sebanding dengan 1 (misal setiap detik ke dua dari air akan menjadi dua kali lebih tua).

Tujuan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah menginventarisasi dan mengidentifikasi sistem jaringan distribusi air IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih., mengavaluasi dan memetakan pola sebaran konsentrasi sisa klor bebas pada jaringan distribusi air IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih serta mendiskripsikan pengaruh konsentrasi injeksi klor terhadap sisa klor bebas di pelanggan dan pengaruh jarak distribusi pada sistem jaringan distribusi air IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Sistem Penyediaan Air Minum Eksisting PDAM Bandarmasih

Air baku PDAM Bandarmasih berasal dari air permukaan/ air sungai, yaitu : sungai Martapura, sungai Bilu, sungai Tabuk serta Irigasi Riam Kanan. Diantara sumber air baku tersebut, sungai Tabuk sempat tidak digunakan menjadi pasokan sumber air namun pada tahun 2001 digunakan kembali untuk menjadi sumber air baku oleh PDAM Bandarmasih. Untuk pasokan air baku dari irigasi Riam Kanan sesuai dengan kesepakatan bersama antara Dirjen Pengairan dan Dirjen Cipta Karya yang disetujui oleh Menteri Pekerjaan Umum yang tertuang dalam berita acara kesepakatan bersama (MOU) tentang penyediaan air baku dari saluran irigasi sekunder SS-U2 Riam Kanan I untuk pengembangan sistem penyediaan air minum PDAM Kota Banjarmasin Propinsi Kalimantan Selatan di Jakarta tertanggal 1 Mei 1991, dialokasikan air untuk kebutuhan air baku sebesar 1.100 l/det, namun kenyataannya saat ini yang dapat dimanfaatkan hanya 600 l/det sedangkan pada musim kemarau hanya 150 l/det bahkan sering mengalami kekeringan, hal ini disebabkan penggunaan air baku oleh masyarakat di sepanjang saluran tersebut untuk peruntukan lahan pertanian dan perikanan sehingga tentu saja sangat mempengaruhi pasokan air baku untuk IPA Itali (Pramuka) dan IPA A. Yani.

**Tabel 5.** Sumber Air Baku PDAM Bandarmasih

No	Nama Intake	Sumber Air	Kapasitas Rencana Intake (L/det)	Kapasitas Operasi (L/det)
1	Pematang (Itali)	Saluran Irigasi Tersier Riam Kanan	1.100	600
2	Sei Bilu	Sungai Martapura	500	500
3	Sei Tabuk	Sungai Martapura	1.300	1.100
4	Sei Lulut	Sungai Lulut	50	50
5	Stasiun Pompa Darurat	Saluran Pembuangan S.S Ulin	250	-

Sumber : PDAM Bandarmasih, 2011



## 2.2 Instalasi Pengolahan Air

Instalasi pengolahan air minum di Kota Banjarmasin perkembangannya disesuaikan dengan kebutuhan air dan karakteristik air sungai yang ada di Kota Banjarmasin. PDAM Bandarmasih mempunyai dua instalasi pengolahan air yaitu IPA I yang berlokasi di Jl. A. Yani dan IPA II yang berlokasi di Jl. Pramuka.

IPA I A.Yani merupakan bangunan pengolahan pertama yang dibangun pada tahun 1962 oleh Prancis dengan kapasitas awal 250 lt/dt bertahap hingga pada tahun 2011 memiliki kapasitas 500 lt/dt. Pasokan air IPA I berasal dari *Intake* Sungai Bilu dan *Intake* Pematang Panjang. IPA I terdiri dari bak pengumpul, pulsator, filter, desinfeksi dan reservoir serta dilengkapi dengan *screen/* saringan air baku, fasilitas gas klor, pompa air baku, pompa distribusi, genset, gudang kimia laboratorium dan ruang HMI/SCADA. Sedangkan IPA II Pramuka dibangun pada tahun 1999 bertahap, dimulai dengan 500 lt/dt hingga pada tahap rehabilitasi tahun 2011 mencapai 1.500 lt/dt. IPA II mendapat pasokan air baku dari sungai Tabuk dan *Intake* Pematang Panjang. IPA II terdiri dari bangunan air terjun (*flash mixing*), *screen/* saringan air baku, fasilitas klor, *intake*, pompa air baku, pompa distribusi, *genset*, gudang kimia, laboratorium, ruang HMI/SCADA serta dilengkapi dengan sistem otomatisasi IPA.

Pengolahan air yang dilakukan di IPA I PDAM Bandarmasih yaitu :

1. Air baku yang dialirkan dari *intake* dengan proses penyaringan dari limbah-limbah padat yang terdapat di air baku
2. Air baku kemudian masuk kedalam bak penerjunan untuk dicampur dengan koagulan yang telah diencerkan.
3. Air baku yang telah mengalami proses koagulasi, kemudian masuk ke dalam kolam kerucut yang berfungsi sebagai proses flokulasi untuk memisahkan air baku dengan lumpur
4. Agar terjadi waktu dekantasi maka air baku yang telah terpisah dengan lumpur dialirkan ke dalam *vacuum chamber*. Waktu dekantasi merupakan waktu bereaksinya antara zat kimia dan air untuk menghilangkan gas yang terdapat dalam air baku.
5. Air baku dimasukkan ke dalam pulsator agar terjadi proses sedimentasi. Pulsator berfungsi untuk memisahkan air dengan lumpur yang larut dalam air.
6. Air hasil dari proses sedimentasi kemudian difiltrasi sebanyak 7 kali dengan menggunakan kolam filter, sehingga terbentuk air bersih.
7. Air yang telah difiltrasi dialirkan ke dalam reservoir dengan menggunakan pompa transfer. Sebelum dialirkan ke reservoir, dilakukan desinfeksi dengan menambahkan gas klor pada sambungan pipa U.
8. Air bersih di dalam reservoir dialirkan ke masyarakat dengan menggunakan pompa dari KUDP (Chumaidi, 2012)

## 2.3 Reservoir

Reservoir pada sistem penyediaan air bersih PDAM kota Banjarmasin ada di beberapa lokasi, yaitu di Jl. Pramuka, Jl. A. Yani, Jl. S. Parman dan Jl. Sutoyo S. Kapasitas masing-masing reservoir adalah sebagai berikut :

- a. Lokasi Pramuka : 10.000 m<sup>3</sup>.
- b. Lokasi IPA A. Yani : 5.500 m<sup>3</sup>.
- c. Lokasi S. Parman : 2.500 m<sup>3</sup>.
- d. Lokasi S. Lulut : 250 m<sup>3</sup>.
- e. Lokasi Sutoyo : 1.000 m<sup>3</sup> (belum optimal difungsikan).
- f. Lokasi Kayu Tangi : 45 m<sup>3</sup> (tidak difungsikan).

- g. Lokasi Sei Jingah : 300 m<sup>3</sup> (tidak difungsikan).
- h. Lokasi Jl. Gerilya : 2.500 m<sup>3</sup>.
- i. Lokasi Banua Anyar : 2.500 m<sup>3</sup>.

Jalur pipa transmisi dalam penyediaan air bersih di PDAM Bandarmasih berfungsi sebagai jalur pipa yang mengalirkan air dari lokasi sumber air baku ke reservoir distribusi. Sistem transmisi yang ada di PDAM Bandarmasih saat Annisa (2007) melakukan penelitian adalah:

- a. Dari Intake Sungai Tabuk  
Air didistribusikan dengan pipa berdiameter 600 mm, 800 mm, 900 mm dan 1000 mm dengan jenis pipa PVC sepanjang 7,15 km dialirkan ke IPA Pramuka secara pompa.
- b. Dari Intake Pematang  
Air didistribusikan dengan pipa FGRP berdiameter 850 mm sepanjang 2336 m dan 950 mm sepanjang 4958 m dialirkan ke IPA Pramuka secara pompa.
- c. Dari Intake Sungai Bilu  
Air didistribusikan dengan pipa berdiameter 630 mm jenis PVC sepanjang 1305 m dan pipa berdiameter 600 mm jenis *steel* sepanjang 24 m dialirkan ke IPA A.Yani secara pompa.
- d. Dari Intake Sungai Lulut  
Air didistribusikan sebagian besar hanya untuk daerah di sekitar sungai Lulut saja. Air dialirkan ke IPA Sungai Lulut secara pompa.

## 2.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Variabel bebas  
Variabel bebas merupakan variabel yang berpengaruh. Pada penelitian ini yang termasuk dalam variabel bebas yaitu konsentrasi injeksi klor.
2. Variabel Terikat  
Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel tersebut yaitu konsentrasi sisa klor pada sistem distribusi pelayanan IPA Sungai Lulut.

## 2.5 Prosedur Penelitian

### a) Analisis dan Simulasi Kondisi Eksisting PDAM Bandarmasih

Perlakuan awal adalah mengetahui konsentrasi sisa klor di jaringan distribusi PDAM Bandarmasih. Data sekunder yang didapatkan dari PDAM Bandarmasih kemudian disimulasi menggunakan *software* EPANET 2.0 untuk mengetahui kondisi Eksisting jaringan distribusi air PDAM Bandarmasih.

### b) Simulasi Kondisi PDAM Bandarmasih

Simulasi kondisi eksisting PDAM Bandarmasih yang telah dilakukan, kemudian dilakukan analisis terhadap jarak tempuh air ke pelanggan dan keberadaan sisa klor dengan menggunakan uji regresi. Dalam analisis regresi sederhana akan diuji apakah pengaruh variabel bebas yaitu konsentrasi klor terhadap variabel terikat yaitu jarak distribusi dan konsentrasi sisa klor.

### c) Analisis Data Pengkajian Model Eksisting

Pengkajian model eksisting diperlukan untuk mengetahui kondisi jaringan distribusi air bersih PDAM Bandarmasih yang akan dijadikan rujukan adalah model dalam tugas akhir berjudul “*Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih*”.

**d) Pengambilan Data**

Adapun data yang diperlukan sebagai input dalam simulasi jaringan distribusi air bersih daerah layanan PDAM Bandarmasih berupa peta eksisting jaringan pipa, data jumlah pelanggan PDAM Bandarmasih, data pipa, dan data laboratorium.

**e) Pemeriksaan Suhu Air**

Pemeriksaan suhu air dilakukan menggunakan termometer. Selain pengukuran suhu air, dilakukan juga pengukuran suhu lingkungan sekitar lokasi pengambilan sampel.

**f) Pemeriksaan pH**

Pemeriksaan pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter yang telah di kalibrasi terlebih dahulu dengan larutan dapar pH 4-7 dan pH 7-9.

**g) Pemeriksaan Kadar Sisa Klor dengan metode DPD**

Pemeriksaan dilakukan dengan memasukkan 10 mL aquades yang ditambahkan 1 sachet reagen sisa klor (indikator DPD) ke dalam *cuvet* kemudian *cuvet* ditutup dengan rapat. Selanjutnya absorbansi dibaca dengan Spektrofotometer.

**h) Pengolahan Input Data Model**

Model EPANET 2.0 yang digunakan memerlukan beberapa parameter input yang harus dimasukkan untuk melakukan simulasi. Parameter-parameter tersebut adalah *demand*, elevasi, panjang pipa, diameter pipa, koefisien kekasaran pipa dan lain-lain. Input data yang digunakan untuk membuat model simulasi sistem distribusi air bersih yaitu nilai koefisien kekasaran *Hazen Williams* (C), perhitungan kebutuhan air, debit, sistem jaringan distribusi eksisting.

**i) Penggambaran Peta Jaringan Distribusi**

Peta jaringan distribusi digambar ulang pada *network map* EPANET 2.0 dengan input yang sesuai dengan model eksisting dan data sekunder yang telah didapat. Input peta tahap awal meliputi ketinggian elevasi *node*, diameter pipa, panjang pipa. Input selanjutnya adalah berupa input *water demand* pada titik-titik konsumsi yang telah ditentukan. Setelah itu, simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah gambar jaringan pada EPANET 2.0 dapat berjalan dan terhubung dengan baik.

**j) Analisis Koefisien Reaksi**

Koefisien reaksi merupakan nilai yang akan digunakan dalam merefleksikan laju klorin. Ada dua koefisien yang akan dimasukkan yaitu *Global Bulk Coefficient* dan *Global Wall Coefficient*. Nilai peluruhan yang dimasukkan merupakan hasil perhitungan. Setelah nilai didapatkan kemudian tahapan yang dilakukan di EPANET yaitu :

1. Pilih *Option-Reactions* pada *Browser*.
2. Untuk *Global Bulk Coefficient* masukkan nilai peluruhan hasil perhitungan untuk koefisien *bulk*.
3. Untuk *Global Wall Coefficient* masukkan nilai peluruhan hasil perhitungan untuk koefisien *wall*

**h) Kalibrasi Data**

EPANET menyediakan kita untuk membandingkan hasil simulasi kepada data terukur di lapangan. Hal tersebut dapat dilakukan melalui Urutan waktu (*Time Series*) yang diplotkan untuk lokasi terpilih pada jaringan atau oleh laporan kalibrasi khusus yang melayani lokasi-lokasi yang banyak. Sebelum EPANET dapat digunakan, data kalibrasi harus dimasukkan kedalam file dan terdaftar pada proyek.

Untuk mendaftarkan data kalibrasi agar tinggal dalam File Kalibrasi:

1. Pilih *Project>>CalibrationData* dari Menu Bar
2. Dalam Data Kalibrasi bentuk dialog, klik pada *box* setelah parameter yang diinginkan untuk didaftarkan.

3. Ketik nama parameter atau klik tombol *browse* untuk mencarinya.
4. Klik tombol *Edit* jika anda mau membuka File Kalibrasi pada *NotePad Windows* untuk mengedit
5. Ulangi langkah 2-4 untuk parameter lainnya yang memiliki data kalibrasi.
6. Klik OK untuk menerima pilihannya.

**k) Analisis Sisa Klor Bebas**

Setelah diperoleh data sekunder dan data primer, selanjutnya dilakukan analisa pada data-data yang didapatkan tersebut. Hal ini dilakukan untuk menyeleksi data yang diperoleh apakah telah sesuai dengan kebutuhan perencanaan yang akan dilakukan. Setelah data yang dibutuhkan terkumpul dilakukan pengolahan data dilakukan analisa menggunakan program EPANET. Berikut adalah tahapan untuk melakukan analisa sisa klor:

1. Pilih *Option-Quality* untuk di edit dari data browser. Pada parameter *Property Editor* ketiklah *chlorine*.
2. Pindah ke *Option-Reactions* pada *Browser*. Untuk *Global Bulk Coefficient* masukkan nilai peluruhan hasil perhitungan. Angka ini merefleksikan laju klorin yang akan meluruh pada saat reaksi pada aliran bulk sepanjang waktu. Laju tersebut akan diaplikasikan pada seluruh pipa pada jaringan.
3. Klik pada *node Reservoir* dan atur *Initial Quality* pada 1.0. Ini adalah konsentrasi dari klorin yang secara kontinue masuk ke dalam jaringan. (Atur kembali *initial quality* pada *Tank* ini menjadi 0 jika akan mengubahnya)
4. Gunakan kontrol waktu pada *Map Browser* untuk melihat bagaimana *level chlorine* berubah berdasarkan lokasi dan waktu selama simulasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data sekunder yang didapat antara lain yaitu hasil monitoring kualitas di IPA Sungai Lulut , rekapitulasi pemakaian bahan kimia IPA Sungai Lulut serta hasil sampling yang dilakukan bersama analis IPA 2 PDAM Bandarmasih (Lampiran 2). Dari hasil sampling yang dilakukan untuk blok 330 atau blok yang mendapatkan distribusi air dari IPA Sungai Lulut dapat dilihat pada Tabel 2 .

**Tabel 6.** Rekapitulasi Hasil Sampling Sisa Klor di Pelanggan Wilayah Pelayanan IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih

No.	Tanggal	Jam	No. DS	Alamat	Sisa Klor (mg/l)
1	14 Januari 2015	9.40	3039303	Jl. Martapura Lama Komp. Adz- Zikra 1 No.88 RT.05	0,21
2	14 Januari 2015	9.50	3030728	Jl. Martapura Lama Komp. Graha Sejahtera IV Blok B No.1	0,39
3	10 Februari 2015	10.1	3025285	Jl. Martapura Lama Komp. Graha Sejahtera No. 5B RT.07	0,7
4	18 Februari 2015	10.4	3025919	Jl. Martapura Lama Komp. Karya Budi Utama Raya II Blok B No. 126	0.21

*Sumber : Hasil Sampling*

Dari Tabel 4.1 diatas terlihat bahwa sisa klor berbeda di tiap pelanggan yang tergantung dari tempat pengambilan sampling sehingga dapat diketahui bahwa jarak distribusi mempengaruhi sisa klor. Selain itu terlihat pula bahwa pada bulan Februari sisa klor yang ada dipelanggan 0,7 berbeda dapa

bulan Januari yang hanya 0,21 – 0,39 . Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan konsentrasi klor yang digunakan pada saat produksi atau distribusi.

### 3.1 Hasil Perhitungan Penurunan Koefisien Sisa Klor

Dalam melakukan analisa sisa klor, sebelumnya perlu dilakukan pengamatan di lapangan terkait penentuan penurunan sisa chlor pada sistem distribusi eksisting. Dalam pengamatan ini data yang digunakan adalah data hasil sampling yang dilakukan analis PDAM Bandarmasih dan lokasi titik sampling (alamat pelanggan) yang digunakan untuk mengetahui jarak, konsentrasi sisa klor pada titik-titik yang sudah ditentukan, diameter pipa dan debit untuk mengetahui kecepatan aliran dalam pipa.

Untuk perhitungan penurunan sisa menggunakan hasil sampling pelanggan pada Tabel 4.1 dengan asumsi sampling dilakukan di hari yang sama.

**Tabel 7.** Perhitungan Konstanta Penurunan Sisa Klor

Junction	C <sub>e</sub>	C <sub>0</sub>	L	V	K
91	0,21	0,6	965	0,26	-2,83.10 <sup>-4</sup>
125	0,39	0,6	889	0,3	-1,46.10 <sup>-4</sup>
129	0,7	0,6	1074	0,2175	-0,24.10 <sup>-4</sup>
87	0,21	0,6	1074	0,29	-2,835.10 <sup>-4</sup>
					-
K <sub>rata-rata</sub>					1,84125.10 <sup>-4</sup>

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan pada data yang telah didapatkan maka akan didapatkan konstanta penurunan sisa klor pada jaringan distribusi sesuai rumus (4) sehingga didapatkan nilai peluruhan yaitu  $k = -0,00018$  . Nilai ini yang akan dimasukkan menjadi nilai *Global Bulk Coefficient* pada program EPANET. Nilai *Global Wall Coefficient* didapatkan dengan menggunakan rumus pada Tabel 4.

**Tabel 8.** Perhitungan Koefisien Laju Reaksi Dinding

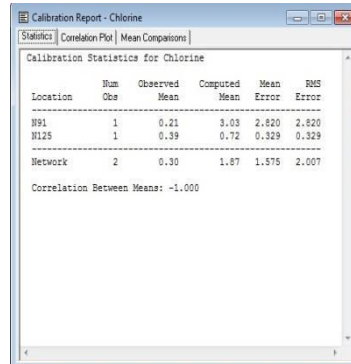
Sampel	F	C	K <sub>w</sub>
1	0,055	100	-5,5.10 <sup>-4</sup>
2	0,049	100	-4,9.10 <sup>-4</sup>
3	0,063	100	-6,3.10 <sup>-4</sup>
4	0,0165	100	-1,65.10 <sup>-4</sup>
K <sub>w rata-rata</sub>			-4,5875.10 <sup>-4</sup>

Sumber : Hasil Perhitungan

Dalam pemodelan ini kekasaran pipa yang dimasukkan sebesar 100 dan tidak memperhitungkan secara spesifik umur pipa yang memungkinkan memiliki kekasaran yang berbeda.

### 3.2 Hasil Kalibrasi Kondisi Eksisting Kondisi Eksisting Sistem Distribusi Pelayanan IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih

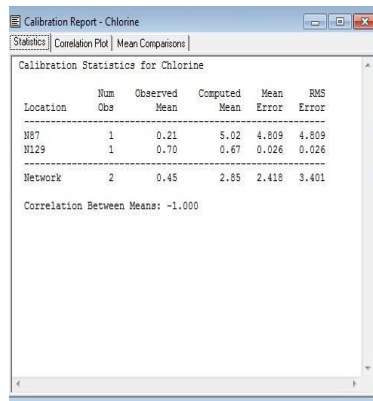
Data yang digunakan dalam kalibrasi di program EPANET adalah hasil sampling yang telah dilakukan pada Tabel 4.1 .



Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
N91	1	0.21	3.03	2.820	2.830
N125	1	0.39	0.72	0.329	0.329
Network	2	0.30	1.87	1.575	2.007

Correlation Between Means: -1.000

Gambar 2. Report Calibration Statistic for chlorine menggunakan data sampling Januari 2015



Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
N87	1	0.21	5.02	4.809	4.809
N129	1	0.70	0.67	0.026	0.026
Network	2	0.45	2.85	2.418	3.401

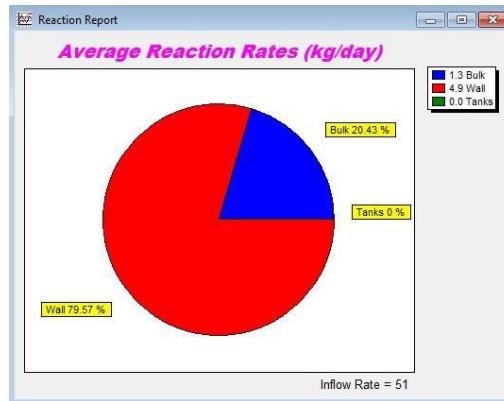
Correlation Between Means: -1.000

Gambar 3. Report Statistic for chlorine menggunakan data sampling Februari 2015

Gambar 2 menggunakan data sampling pada bulan Januari dengan sisa klor pada air distribusi sebesar 10,34 mg/l dengan dua titik sampling yaitu N91 dan N125. Dari Gambar 2 dapat dilihat perbedaan hasil antara observasi dan simulasi yang cukup jauh. Hal ini disebabkan karena pada kondisi lapangan injeksi klor dilakukan per jam seperti yang terdapat pada Laporan Monitoring Proses Pengolahan IPA Sungai Lulut sedangkan pada simulasi menggunakan jumlah sisa klor air distribusi per hari yaitu 10,34 yang kemudian di *running* untuk 24 jam. Hal tersebut juga terlihat pada Gambar 3.

### 3.3 Hasil Pemodelan Penurunan Sisa Klor Menggunakan EPANET

Dalam pemodelan penurunan sisa klor menggunakan program EPANET koefisien penurunan sisa klor yang dimasukkan yaitu nilai *Global Bulk Coefficient*  $k = -0,00018$  dan *Global Wall Coefficient*  $k = -0,00046$  sehingga didapatkan presentasi penurunan klor pada saat di jaringan yaitu seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4. Report Reaction

Dari Gambar 4 istilah *Bulk* mengacu pada reaksi yang muncul karena aliran, dan *wall* mengacu pada reaksi dikarenakan oleh dinding pipa. Dari diagram tersebut terlihat bahwa penurunan sisa klor 20,43 % disebabkan oleh *bulk reaction* yaitu aliran hal ini bisa disebabkan karena umur air dalam pipa cukup lama. Umur air dalam pipa ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan jarak (panjang pipa). Untuk penurunan sisa klor yang dipengaruhi dinding pipa sebesar 79,57%, presentase ini sangat dipengaruhi *wall coeff. Correlation* atau kekasaran pipa. Dalam pemodelan ini kekasaran pipa yang dimasukkan sebesar 100 dan tidak memperhitungkan secara spesifik umur pipa yang memungkinkan memiliki kekasaran yang berbeda. Hal ini disebabkan keterbatasan data umur pipa dan jenis pipa yang digunakan. Untuk menuju satu node, jenis pipa yang digunakan memiliki diameter yang berbeda dan jenis yang berbeda. Selain itu umur dari pipa tersebut juga berbeda tergantung dari pemasangan pipa tersebut. Karena tiap waktunya dikarenakan jumlah SR yang terus bertambah sehingga PDAM Bandarmasih melakukan pemasangan pipa baru guna memenuhi kebutuhan pelanggannya.

### 3.4 Analisis Konsentrasi Klor pada Air Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih

Berdasarkan data-data yang didapat dan hasil sampling yang dilakukan diketahui seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Sistem Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih

No.	Bulan	Debit Air Distribusi (m <sup>3</sup> /h)	Penggunaan Bahan Kimia		Hasil Sampling Sisa Klor di Pelanggan		
			Gas Klor (Kg)	Kaporit (Kg)	Tanggal Sampling	No. DS	Sisa Klor (mg/l)
1	Januari	98580	110	195	14 Januari 2015	3030728	0,39
2	Februari	100777	158	195	10 Februari 2015	3025285	0,7

Sumber : PDAM Bandarmasih, 2015

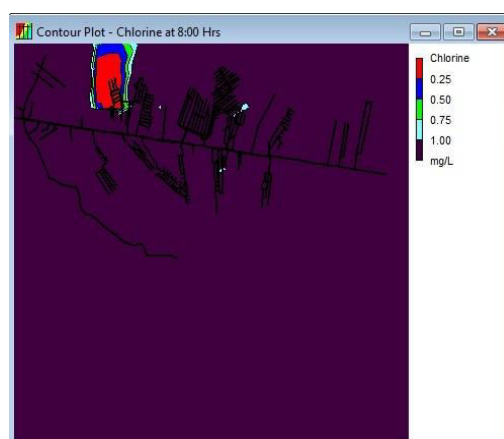
Dari data pada Tabel 4.3 data yang digunakan adalah hasil sampling yang diambil pada Jl. Martapura Lama Komp. Graha Sejahtera karena berada pada area lokasi yang sama dan diketahui bahwa penggunaan bahan kimia merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sisa klor yang sampai ke pelanggan. Pada pembagian reaksi klorin terdapat 5 tahapan yaitu 1.pemecahan klorin oleh senyawa pereduksi; 2. terbentuk kompleks kloro-organik; 3. terjadi reaksi antara ammonia dengan klorin; 4. pemecahan kloramin dan senyawa kompleks kloro-organik pada tahap ini terjadi penurunan  $Cl_2$ ; 5.terbentuk klorin bebas. Dari reaksi yang terjadi dapat dianalisis bahwa konsentrasi klor yang digunakan pada air distribusi mempengaruhi reaksi yang terjadi pada jaringan dan sisa klor yang sampai ke pelanggan.Kebutuhan klor (*chlorine demand*) dalam sistem jaringan perlu diperhatikan agar sisa klor ke pelanggan sesuai dengan yang diharapkan.

Menentukan jumlah residu klor yang diberikan dipengaruhi oleh debit air yang harus diklorinasi per hari. Sehingga debit air distribusi juga menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam menambahkan jumlah konsentrasi klor.

Laporan distribusi air IPA Sungai Lulut pada tanggal 14 Januari 2015 debit air distribusi yaitu sebesar 860,833 l/det sedangkan pada tanggal 10 Februari 2015 debit air distribusi sebesar 915,556. Rekapitulasi debit air bulan Januari yaitu sebesar 98580 m<sup>3</sup>/h dan bulan Februari sebesar 100777 m<sup>3</sup>/h. Dari laporan monitoring kualitas air distribusi IPA Sungai Lulut pada tanggal 14 Januari 2015 pemakaian  $Cl_2$  menghasilkan sisa klor sebesar 10,34 mg/l dan pada tanggal 10 dan 18 Februari 2015 pemakaian  $Cl_2$  menghasilkan rata-rata sisa klor di air distribusi sebesar 12,78 mg/l. Hal itu disebabkan karena lebih banyak jumlah air yang didistribusikan sehingga pemakaian bahan kimia lebih besar pada bulan Februari.

### 3.5 Simulasi Injeksi Konsentrasi Klor pada Air Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih dengan *Software* EPANET

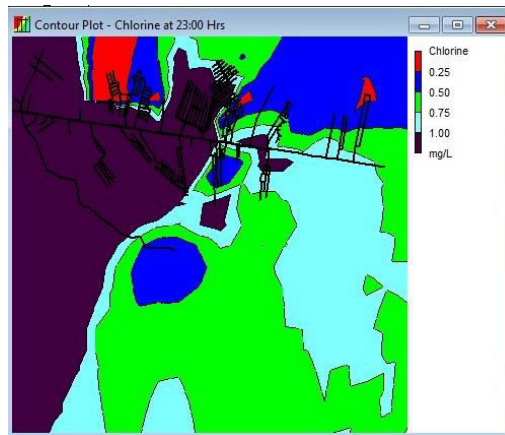
Simulasi injeksi konsentrasi klor pada air distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih dilakukan bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi sebaran sisa klor di pelanggan. Simulasi yang dilakukan menggunakan data sisa klor air distribusi atau kualitas air distribusi dengan sisa klor 10,34 mg/l dengan waktu simulasi 24 jam.



**Gambar 5.** *Contour Plot* Simulasi pada jam 08.00 dengan injeksi klor diawal 10,34 mg/l



*Contour Plot* digunakan untuk memperlihatkan area dari peta dengan nilai yang khusus. Pada Gambar 5. *contour plot* didominasi oleh warna ungu yaitu sisa klor bebas dalam rentang di atas 1,0 mg/l.



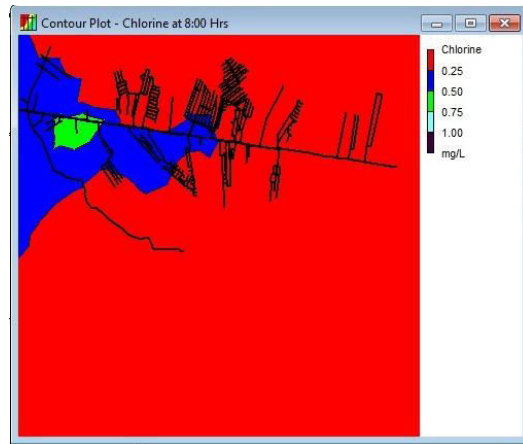
**Gambar 6.** *Contour Plot* Simulasi pada jam 23.00 dengan injeksi klor diawal 10,34 mg/l

Sedangkan pada Gambar 6 terlihat *contour plot* dengan berbagai macam variasi warna yang menunjukkan kondisi sisa klor bebas pada daerah tersebut. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan perbedaan sisa klor pada jam 08.00 dan 23.00. Hal ini disebabkan oleh *water age* (usia air) yaitu waktu yang dihabiskan oleh bagian dari air dalam jaringan. Usia air dipengaruhi oleh kebutuhan air pelanggan yaitu jumlah air perliter yang digunakan pada setiap waktu yang berbeda. Dalam 24 jam pemakaian air tiap jam berbeda, hal ini disebabkan oleh aktivitas serta kebutuhan air pelanggan yang berbeda tiap waktu.

Usia air merupakan faktor dalam penurunan kualitas air dalam sistem distribusi. Hal itu disebabkan oleh interaksi antar dinding pipa dan air serta reaksi air dalam pipa. Dalam perjalanan air di dalam pipa selama sistem distribusi air mengalami reaksi kimia, fisik dan biologi. Sehingga semakin lama air berada dalam jaringan maka semakin banyak reaksi yang terjadi pada air di dalam sistem sehingga membuat kualitas air berubah.

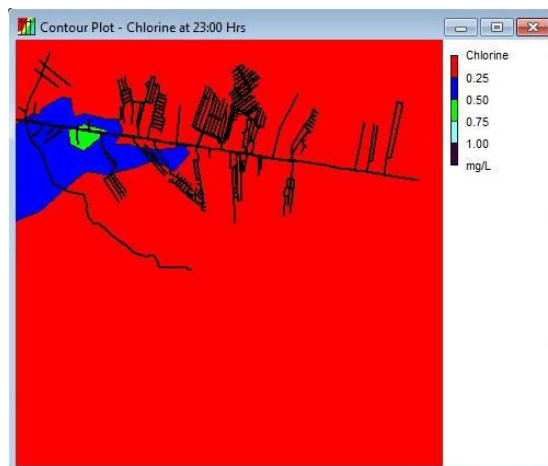
Selain itu jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan juga mempengaruhi penurunan sisa klor dipelanggan. Hal ini disebabkan oleh jarak tempuh yang diperlukan air untuk sampai ke pelanggan dan reaksi yang terjadi di dalam sistem selama air berada dalam pipa. Hal ini juga dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Syahputra (2012). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Syahputra (2012) menunjukkan kecenderungan semakin jauh jarak anatara reservoir dengan konsumen, maka semakin kecil atau sedikit sisa klor.

Simulasi berikutnya menggunakan asumsi sisa klor air distribusi atau kualitas air distribusi dengan sisa klor 0,8 mg/l dengan waktu simulasi 24 jam.



**Gambar 7.** *Contour Plot* Simulasi pada jam 08.00 dengan injeksi klor diawal 0,8 mg/l

*Contour Plot* pada Gambar 7 *contour plot* didominasi oleh warna merah yaitu sisa klor bebas dibawah rentang 0,25 mg/l. Selain itu terdapat warna biru yang menunjukkan sisa klor pada rentang 0,5 mg/l dan hijau pada rentang 0,75 mg/l.



**Gambar 8.** *Contour Plot* Simulasi pada jam 23.00 dengan injeksi klor diawal 0,8 mg/l

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan perbedaan sisa klor pada jam 08.00 dan 23.00 serta perbedaan sisa klor pada pelanggan yang dekat dengan reservoir dan pelanggan yang jauh dengan reservoir. Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat bahwa sisa klor berada kisaran antara 0,2 – 0,75 mg/l sedangkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 sisa klor berada kisaran antara 0,2 – 1,0 mg/l hal ini disebabkan oleh perbedaan injeksi konsentrasi klor di awal distribusi air.

Simulasi menggunakan injeksi konsentrasi klor di awal distribusi air sebesar 10,34 mg/l maka akan dihasilkan sisa klor yang bervariasi dari 0,2 – 1,0 mg/l. Pada simulasi ini pelanggan yang dekat dengan reservoir memiliki sisa klor yang cukup tinggi yaitu diatas 0,5 mg/l sehingga berdampak negatif untuk pelanggan karena sisa klor yang tinggi dapat bereaksi dengan bahan organik dalam air yang mengakibatkan terjadinya korosi pada pipa dan air dapat menjadi karsinogenik.

Sedangkan dalam simulasi jika menggunakan injeksi konsentrasi klor di awal distribusi air sebesar 0,8 mg/l maka akan dihasilkan sisa klor yang memenuhi batas sisa klor yang diijinkan yaitu 0,2-0,5 mg/l namun itu hanya terjadi pada pelanggan yang dekat dengan reservoir. Untuk pelanggan yang jarak distribusi air cukup jauh dari reservoir sisa klor akan habis pada sistem jaringan sehingga sisa klor yang dihasilkan pada pelanggan yang jauh dari reservoir kurang dari 0,2 mg/l. Hal ini juga dapat berdampak negatif karena apabila sisa klor kurang dari 0,2 mg/l pada pelanggan maka bakteri patogen yang berada di dalam air masih tersisa. Tujuan dari desinfeksi adalah menghilangkan bakteri patogen dalam air bersih namun jika sisa klor kurang dari 0,2 mg/l bakteri patogen masih ada akan berdampak pada kesehatan pelanggan jika mengkonsumsi air tersebut. Dapat disimpulkan bahwa injeksi konsentrasi klor yang dapat digunakan adalah pada rentang 0,8 – 2,0 mg/l.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem jaringan distribusi air bersih IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih memiliki kapasitas reservoir sebesar 250 m<sup>3</sup>. Air didistribusikan sebagian besar hanya untuk daerah di sekitar sungai Lulut saja. Air dialirkan ke IPA Sungai Lulut secara pompa.
2. Hasil sampling dilapangan sistem jaringan distribusi air bersih IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih didapatkan sisa klor dipelanggan berada pada kisaran 0,2-0,7 mg/l
3. Sisa konsentrasi klor di jaringan distribusi bergantung pada injeksi konsentrasi klor di awal distribusi dan jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan. Semakin besar injeksi konsentrasi klor maka semakin besar pula sisa klor yang dihasilkan di air yang diterima oleh pelanggan. Semakin jauh jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan maka semakin kecil sisa klor yang sampai ke pelanggan.

##### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat disarankan, diantaranya :

1. Perlunya studi lanjutan untuk mensimulasi letak injeksi klor dan waktu injeksi agar sisa klor yang sampai ke pelanggan sesuai antara 0,2-0,5 mg/l
2. Perlu dilakukan pengujian untuk parameter yang lain seperti Bakteri *Eschericia coli*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali. (2010). *Monograf Peran Proses Desinfeksi Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produksi Air Bersih*. Cetakan 1. Surabaya: UPN press.
- Annisa. (2007). *Studi Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Paket Program EPANET Versi 2.0 pada Sungai Bilu Kota Banjarmasin*. Malang. Universitas Brawijaya.
- Asryadin. (2012). Pengaruh Jarak Tempuh Air Dari Unit Pengolahan Air Terhadap pH, Suhu, Kadar Sisa Klor dan Angka Lempeng Total Bakteri (ALTB) Pada PDAM Kota Bima Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Analisis Kesehatan Sains* Vol. 01 No. 02 2012.
- Chumaidi. (2012). *Laporan Kerja Praktek Instalasi Pengolahan Air PT.PDAM Bandarmasih*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.

- Ichyar. (2005). Analisis Hidrolis Jaringan Pipa Transmisi Air Minum Di Kecamatan Medan Helvetia. *Jurnal Arsitektur "ATRIUM" Universitas Semarang* vol 02. No. 03. Desember 2005: 42-50.
- Masduqi. (2014). *Pemodelan Penurunan Sisa Chlor Jaringan Distribusi Air Minum dengan EPANET (Studi Kasus Kecamatan Sukun Kota Malang)*. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- PDAM Bandarmasih. (2014). *Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Instalasi A.Yani dan Jaringan di Perpipaan*. PDAM Bandarmasih Departemen Produksi Banjarmasin.
- PDAM Bandarmasih. *Bab 2 Corporate Plan PDAM Bandarmasih Kota Banjarmasin 2012-2016*. PDAM Bandarmasih Departemen Aset Banjarmasin.
- PDAM Bandarmasih. *Rekapitulasi Jumlah Pelanggan PDAM Bandarmasih*. PDAM Bandarmasih Departemen Pelayanan dan Pemasaran. Banjarmasin.
- Rossman, Lewis A. (2000). *EPANET User Manual*.: Water Supply and Water Resources Division of U.S Enviromental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory. Cincinatti. Ohio. U.S.A
- Sugiarti. (2011). *Analisis Pengaruh Jarak Pengaliran, pH, Suhu, Tekanan, dan Kandungan Besi terhadap Konsentrai Sisa Klorindan Koloni Coliform pada Sumber Air Wendit PDAM Kota Malang*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sutrisno. (2006). *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Cetakan 6. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Syahputra. (2012). *Analisis Sisa Chlor Pada Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Semarang*. Semarang. UNISSULA
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I. (1990)No.492/Menkes/PER/IV/2010 *tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Departemen Kesehatan R.I. Jakarta.
- Tim Penyusun Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Buku Panduan Pengembangan Air Minum, Rencana Program Investasi Jangka Menengah (RPIJM) Bidang PU/Cipta Karya*.  
(<http://ciptakarya.pu.go.id/rpijm/data/05.%20PENGEMBANGAN%20AIR%20MINUM%2017-09-2007.pdf>), diakses 12 November 2014.