

EVALUASI DAN ANALISIS POLA SEBARAN SISA KLOOR BEBAS PADA JARINGAN DISTRIBUSI IPA SUNGAI LULUT PDAM BANDARMASIH

Elma Sofia¹ dan Rony Riduan²

*^{1,2} Progran Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
E-mail: elmasofia1706@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 menganalisis pengaruh letak posisi injeksi, dosis serta waktu injeksi klor terhadap sebaran sisa klor bebas, mengidentifikasi pola distribusi sebaran sisa klor selaras dengan persepsi masyarakat Sungai Lulut dan menyusun model yang dapat mempresentasikan simulasi lokasi, dosis dan waktu injeksi klor. Penelitian dilakukan dengan melakukan analisis kuisioner dan simulasi dengan menggunakan software EPAnet. Analisis kuisioner menggunakan analisis diskriptif. Simulasi dilakukan beberapa kali dengan skenario yang berbeda-beda sehingga mendapatkan simulasi yang dapat mempresentasikan letak posisi injeksi, dosis serta waktu injeksi klor yang tepat. Dari hasil simulasi kondisi eksisting dapat disimpulkan bahwa letak injeksi klor berpengaruh terhadap sisa klor yang diterima pelanggan. Semakin jauh pelanggan dari letak injeksi klor semakin sedikit sisa klor yang didapat, begitupula dosis injeksi klor. Hasil persepsi masyarakat juga selaras dengan hasil sampling dimana saat pengambilan sampling dirumah pelanggan yang jaraknya jauh dari tempat injeksi klor, terdapat keluhan-keluhan tentang air yang mereka terima. Untuk hasil simulasi yang tepat adalah penambahan injeksi dengan jarak 1464 m dari injeksi awal.

Kata Kunci: Disinfektan, konsentrasi injeksi klor, sisa klor bebas, jarak distribusi air, waktu injeksi klor

ABSTRACT

A disinfectant that is often used is chlorine compound. From chlorination of water resulted in the presence of residue from chlorine. Chlorine residual contained in two forms, namely are bound chlorine residue and free chlorine residue. According to Minister of Health No.492/Menkes/PER/IV/2010 regarding terms quality of drinking water requirements, the presence of free chlorine in the distribution network that is allowed is 0.2-0.5 mg/l. This study aims to analyze the influence of position of injection, dose and time of chlorine injection on the distribution of free chlorine residual, identify the distribution patterns of chlorine residue in tune with perception of Sungai Lulut society and arrange a model that can present a location simulation, dose and time of chlorine injection. The research was conducted by analyzing the questionnaire and simulation using EPAnet software. Questionnaire analysis using descriptive analysis. The simulation was done in several times with different scenarios so get the simulation that can present the position of injection, dose and time of

chlorine injection in appropriate. Based on the simulation results of the existing conditions, it can be concluded that the location of chlorine injection can affect the remaining chlorine received by customer. The further the customer from the location of chlorine injection, the less chlorine residual obtained, as well as dose of chlorine injection. The results of society perceptions are also aligned with sampling results which when taking side of the customer house is far from where the injection of chlorine, there are complaints about water they receive. For proper simulation results is the addition of injection with a distance of 1464 m from initial injection.

Keywords: Disinfectant, concentration of chlorine injection, free chlorine residue, distance of water distribution, time of chlorine injection.

1. PENDAHULUAN

Penyediaan air bersih disuatu daerah dinilai dari segi kuantitas dan kualitas air bersih tersebut. Peningkatan kuantitas air bersih berbanding lurus dengan semakin maju pertumbuhan penduduk dan tingkat hidup penduduk. Sedangkan peningkatan kualitas air bersih dipengaruhi oleh pengolahan dan pengelolaan air. Pada umumnya IPA (Instalasi Pengolahan Air) menggunakan beberapa tahapan pengolahan yaitu koagulasi-flokulasi, sedimentasi, flokulasi, dan desinfeksi.

Desinfeksi merupakan tahapan pengolahan untuk menghilangkan bakteri patogen dalam air. Salah satu desinfeksi yang sering digunakan yaitu khlorinasi yaitu dengan menambahkan senyawa klor untuk mematikan mikroorganisme dalam air. Pada proses khlorinasi akan menghasilkan klor terikat dan klor bebas. Klor terikat terbentuk akibat penambahan klor pada air yang 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 dalam proses desinfeksi (Asmadi dkk, 2011).

Penggunaan senyawa klor dalam desinfeksi perlu diperhatikan karena menurut Pemenkes No.492/MenKes/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, keberadaan senyawa klor bebas yang diperbolehkan adalah 0,2-0,5 mg/L. Hal tersebut perlu diperhatikan karena apabila kurang dari 0,2 mg/l maka dapat dikatakan bakteri patogen masih berada dalam air sedangkan jika lebih dari 0,5 mg/l jika sisa klor bebas bereaksi dengan senyawa organik maka dapat bersifat karsinogenik dan menjadi toksik bagi konsumen.

Simulasi yang dilakukan Sofia (2015) terhadap pola sebaran distribusi IPA Sungai Lulut PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) menunjukkan perbedaan sisa klor pada waktu yang berbeda dan jarak lokasi yang berbeda. Hal itu 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.

Water age 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 antara reservoir dengan konsumen, maka semakin kecil atau sedikit sisa klor.

Hasil pemeriksaan rutin IPA Sungai Lulut pada bulan Februari 2015 pada No. DS 3025285 menunjukkan sisa klor 0,7 mg/l (PDAM, 2015). Sehingga diperlukan simulasi permodelan sistematis jaringan distribusi perpipaan dengan menggunakan software EPAnet untuk mendapatkan waktu injeksi, letak injeksi dan dosis klor yang tepat agar sisa klor yang sampai pada konsumen memenuhi persyaratan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Adapun lokasi-lokasi yang digunakan sebagai tempat penelitian adalah sebagai berikut:

1. Lokasi pengambilan data dan inventaris data berada di IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih, Kalimantan Selatan.
2. Lokasi sampling dan kuisioner di daerah Sungai Lulut Banjarmasin.
3. Laboratorium PDAM Bandarmasih, Kalimantan Selatan

2.2. 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 letak injeksi klor, waktu injeksi klor dan 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.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Analisis Kuisioner

Hasil kuisioner yang telah dilakukan terhadap responden kemudian dianalisis secara diskriptif sehingga dapat menggambarkan kondisi eksisting di daerah responden.

2.3.2. 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.

2.3.3. Simulasi Kondisi PDAM Bandarmasih

Simulasi kondisi eksisting PDAM Bandarmasih yang telah dilakukan, kemudian dilakukan beberapa simulasi dengan mengubah-ubah letak injeksi, waktu injeksi serta dosis injeksi klor sehingga mendapatkan model yang dapat memenuhi tujuan.

2.3.4. Pengkajian Model Eksisting

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

2.3.5. 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.

2.3.6. 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.

2.3.7. 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 dengan coba-coba sehingga mendekati hasil yang hampir menyerupai dengan sebenarnya.

2.3.8. 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>>Calibration Data* 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.

2.3.9. 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* ketik lah *chlorine*.
2. Pindah ke *Option-Reactions* pada *Browser*. Untuk *Global Bulk Coeffcient* 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. Kik pada *node Reservoir* dan atur *Initial Quality* pada 1.0. Ini adalah konsentrasi dari khlorin 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

2.3.10. Prosedur Simulasi

Untuk memodelkan stasiun *booster chlorine* dalam EPAnet 2.0 dapat dilakukan dengan menempatkan stasiun *booster* pada *junction* dengan kebutuhan nol atau positif atau pada tangki. Pilih *node* pada *Property Editor* dan klik tombol *ellipsis* pada *Source Quality* untuk menampilkan *Editor Source Quality*. Pada *Editor*, atur *Source Type* ke *SETPOINT BOOSTER* dan atur *Source Quality* kepada konsentrasi klor pada air tinggal dengan *node* yang akan di *boost*. Sebagai alternatif, jika stasiun *booster* akan digunakan untuk menambah khlorin langsung pada aliran, atur *Source Type* pada *FLOW PACED BOOSTER* dan *Source Quality* kepada konsentrasi sebesar konsentrasi yang akan meninggalkan *node*. Khusus tambahkan ID pola waktu pada bagan *Time Pattern* jika diinginkan adanya *variasi lenel booster* terhadap waktu.

Dalam menentukan titik injeksi klor mengacu pada simulasi kondisi eksisting. Sehingga dari hasil simulasi kondisi eksisting, dapat dilakukan simulasi penempatan letak injeksi klor.

2.3.11. Simulasi Eksisting

Pada simulasi eksisting, pertama-tama yang dilakukan adalah penggambaran peta jaringan distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih pada EPAnet 2.0. Kemudian memasukkan nilai-nilai hasil sampling ke dalam *Calibration Data (Project – Calibration Data – Quality)*. Setelah itu masukkan nilai peluruhan *Global Bulk Coeffisien (Options – Reactions – Global Bulk Coeff)*, nilai ini berdasarkan dari perhitungan dari hasil pengambilan sampel di Laboratorium IPA Sungai Lulut dengan menggunakan air distribusi dengan rentang waktu per 10 menit. Kemudian menambahkan nilai *Global Wall Coeffisien* dengan cara coba-coba sampai kira-kira menemukan yang hasil kalibrasi datanya dapat dianggap permodelan tersebut dapat mewakili keadaan yang sebenarnya. Setelah dapat dirunning, kemudian dilakukan simulasi kondisi eksisting dengan injeksi klor 0,8 mg/L.

Dari hasil simulasi eksisting dapat dilihat bagaimana pola sebaran sisa klor bebas pada jaringan distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. Dapat juga dilakukan beberapa simulasi dengan dosis injeksi yang berbeda-beda. Agar dapat diketahui apa pengaruh dosis terhadap pola sebaran sisa klor

bebas pada jaringan distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. Simulasi eksisting juga dilakukan selama 24 jam, sehingga dapat terlihat perbedaan pola sebaran sisa klor bebas pada jaringan distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih pada jam-jam yang berbeda. Hal itu disebabkan oleh lamanya sisa klor bebas berada di dalam pipa sehingga dapat dikatakan waktu injeksi juga salah satu hal yang perlu diperhatikan.

Dalam menentukan titik injeksi klor tambahan mengacu pada simulasi kondisi eksisting. Sehingga dari hasil simulasi kondisi eksisting, dapat dilakukan simulasi penempatan letak injeksi klor.

2.3.12. Simulasi Penambahan Injeksi Klor

Dari simulasi kondisi eksisting diketahui pada jarak 1000 m dari letak injeksi terlihat bahwa sebaran sisa klor banyak terdapat nilai sisa klor di bawah dari 0,2 mg/l. Sehingga dilakukanlah beberapa simulasi dengan penambahan injeksi klor di beberapa titik.

Tabel 1. Penambahan injeksi klor untuk Simulasi

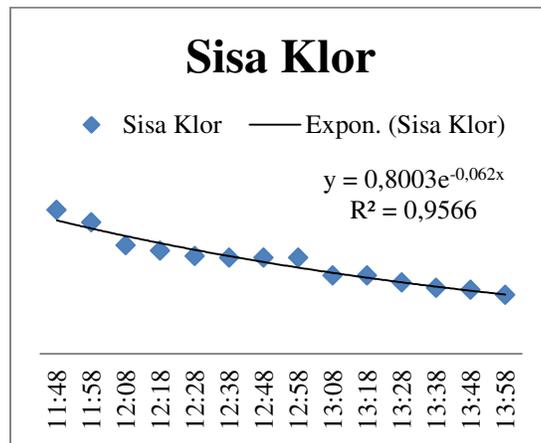
Simulasi ke -	Jarak penambahan injeksi klor dengan injeksi awal (m)
Pertama	1236
Kedua	1464
Ketiga	1236 dan 1329
Keempat	506 dan 1464

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah pelanggan PDAM Bandarmasih yang mencakup wilayah yang dilayani IPA Sungai Lulut adalah 6922 pelanggan. Jumlah pelanggan IPA Sungai Lulut merupakan populasi, untuk perhitungan sampel menggunakan rumus *Slovin* dengan nilai error 10%, sehingga mendapatkan jumlah sampel yang diambil adalah 99 sampel. Untuk teknik pengambilan sampel dipilih *random sampling* yaitu pengambilan sampel secara acak.

3.1. Bulk Reaction

Koefisien *bulk reaction* didapat dengan melakukan percobaan di Laboratorium IPA Sungai Lulut. Dalam percobaan ini air yang digunakan sebagai sampel adalah air distribusi, dengan waktu pengambilan sampel per 10 menit. Berikut hasil pengambilan sampel untuk mendapatkan koefisien *bulk reaction* :



Gambar 1. Hasil Eksponensial Peluruhan Klor
Sumber : Hasil Penelitian

Sesuai perhitungan, maka didapatkan nilai k yaitu: $a = -k = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = -10.19040976$. Kemudian nilai *bulk reaction* dan hasil sampel di masukkan disimulasi permodelan EPAnet dan di *running* sehingga dapat mengetahui nilai *wall reaction*.

3.2. Hasil Kalibrasi Sistem Distribusi Air IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih

Data hasil sampling dimasukkan ke program EPAnet serta hasil perhitungan nilai *bulk reaction*. Setelah disimulasi dan *running* kemudian dimasukkan perkiraan nilai *wall reaction*. Dari hasil simulasi diperkirakan nilai *wall reaction* yaitu 0.5 Rentang nilai dari *wall coeff* adalah -0.07 – (-184.3) m/hari.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Data dan Reactions Report EPAnet 2.0

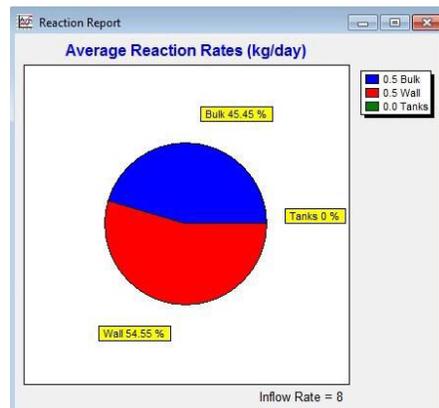
No.	Nilai Global Wall Coeff	Nilai RMSE	Reactions Report (Wall Reaction) (%)
1	-1	0.272	65.97
2	-0.9	0.267	64.39
3	-0.8	0.261	64.39
4	-0.7	0.254	60.39
5	-0.6	0.247	57.78
6	-0.5	0.24	54.55
7	-0.4	0.233	50.42
8	-0.3	0.228	44.9
9	-0.2	0.228	37
10	-0.1	0.237	24.48

Sistem distribusi di EPAnet kemudian dikalibrasi dengan memasukkan data hasil sampling, *bulk reaction*, dan *wall reaction*. Dari hasil kalibrasi didapatkan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* sebesar 0.240 (24%). RMSE adalah metode yang digunakan unuk mengevaluasi nilai hasil dari

pengamatan terhadap nilai sebenarnya. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya. Semakin besar nilai RMSE yang dihasilkan, maka keakuratan suatu model semakin sedikit, sedangkan semakin kecil nilai RMSE maka semakin akurat suatu model tersebut.

3.3. Hasil Pemodelan Penurunan Sisa Klor

Nilai *bulk reaction* yang didapat dari hasil percobaan dan perhitungan dan nilai *wall reaction* yang didapat dari hasil simulasi dapat mempresentasikan penurunan sisa klor pada jaringan seperti yang terlihat pada Gambar 2.



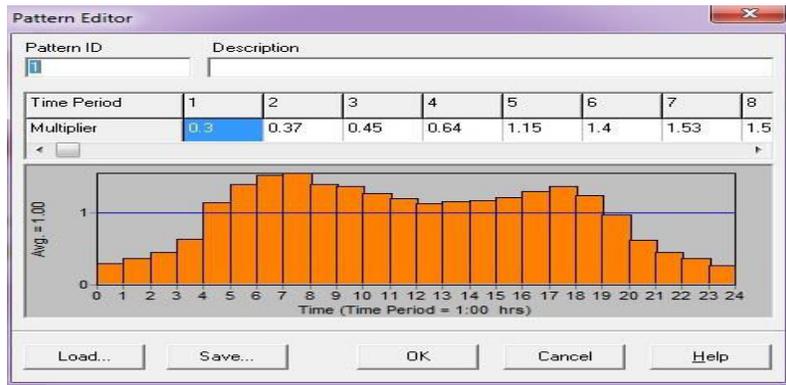
Gambar 2. Reaction Report

Dalam program EPAnet 2.0 nilai *global bulk coefficient* dimasukkan sebesar -10,19 dan nilai *global wall coefficient* dimasukkan sebesar -0,5. Dapat dilihat pada Gambar terlihat presentase penurunan sisa klor. Penurunan sisa klor yang disebabkan oleh *bulk reaction* adalah sebesar 45,45 %. Pengurangan konsentrasi klor bebas terjadi akibat sisa klor bereaksi dengan komponen-komponen yang ada di dalam air. Penurunan konsentrasi sisa klor dapat disebabkan oleh kondisi organik yang ada di dalam air, semakin banyak bahan organik maka klor akan semakin cepat hilang. *Bulk reaction* juga dipengaruhi oleh *water age* (umur air) dalam pipa yang cukup lama. Umur air didalam pipa dipengaruhi oleh jarak (panjang pipa) dan kecepatan aliran. Semakin lambat kecepatan aliran maka waktu tinggal akan semakin lama sehingga semakin hilang pula sisa klor, sebaliknya semakin cepat kecepatan aliran maka waktu tinggal semakin singkat.

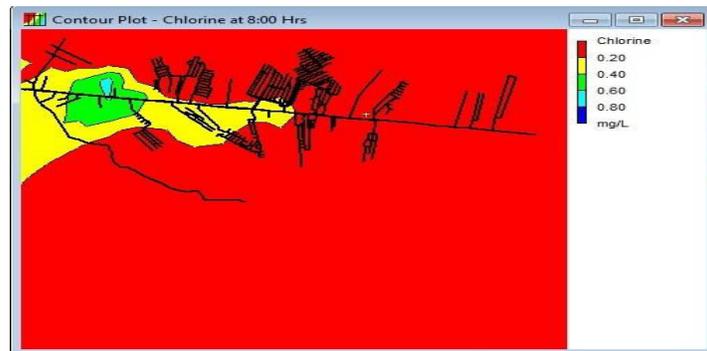
Penurunan sisa klor yang disebabkan oleh *wall reaction* adalah sebesar 54,55 %. Pengurangan konsentrasi klor bebas terjadi akibat reaksi air dengan dinding pipa. *Wall reaction* dipengaruhi oleh kekasaran pipa serta material pipa yang digunakan serta umur spesifik pipa. Untuk menuju satu node, jenis 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. Hasil Simulasi Pola Sebaran Sisa Klor

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 0.8 mg/l dengan waktu simulasi 24 jam. Dengan pettern seperti pada Gambar 3 didapatkan hasil simulasi pada jam 08.00 digambarkan dengan *contour plot* seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Pettern selama 24 jam



Gambar 4. Contour Plot Sebaran Klor pada 08.00

Dari hasil Query dari simulasi tersebut yaitu terdapat 14 titik yang sisa klor bebasnya *above* 0,5 mg/L dan 278 titik yang sisa klornya *below* 0,5 mg/L.

Dari hasil simulasi sebaran sisa klor dapat disimpulkan bahwa sisa konsentrasi klor di jaringan distribusi bergantung pada injeksi konsentrasi klor di awal distribusi dan jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan serta waktu injeksi. 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. Sehingga diperlukannya simulasi sebaran sisa klor dengan konsentrasi klor, dan waktu injeksi yang tepat serta tambahan tempat injeksi klor agar sisa klor yang sampai ke pelanggan sesuai yang diharapkan.

3.5. Analisis Hasil Kuisisioner

Dari 99 sampel dapat dilihat bagaimana hasil sampling sisa klor dan pendapat pelanggan tentang air yang mereka terima. Kebanyakan pelanggan memang berpendapat bahwa air yang mereka terima cukup baik, namun memang secara fisik masih bisa dikatakan keruh. Hal tersebut dapat dilihat pada saat air tersebut ditampung, terlihat masih ada endapan.

Adapun pendapat pelanggan dengan hasil sampling sisa klor tertinggi yaitu pada rumah ibu Astalina yaitu 1,24 mg/L beliau mempunyai keluhan yaitu terkadang airnya bergetah dan badan ibu lina sering gatal-gatal jika mandi menggunakan air pada saat airnya terasa bergetah. Hal ini mungkin disebabkan oleh nilai sisa klor yang cukup tinggi. Efek yang terjadi apabila sisa klorin melebihi ambang batas adalah antara lain terjadi gangguan pernafasan berupa reaktivitas *bronchial (hyperresponsiveness)*, inflamasi, batuk-batuk, susah bernafas, sesak nafas, dan berkurangnya fungsi paru, serta efek yang akan muncul pada gas klorin yang terlepas dari larutan hipoklorit terhirup (inhalasi) adalah iritasi pada rongga hidung dan sakit tenggorokan.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa jarak dan jam sampling mempengaruhi sisa klor yang diterima oleh pelanggan.

Tabel 3. Rekapitulasi Sisa Klor yang diterima pelanggan

No	Nama	Jarak Injeksi Klor dan Rumah Pelanggan	Jam Sampling	Sisa Klor
1	Mulyadi	763 m	14:56	0.33
2	Lia / Joko Susilo	726 m	15:04	0.44
3	Astalina / Gt. Muhammad Rusdi	745 m	15:15	1.24
4	Jamruni	788 m	15:29	0.94
5	Hadran / Hairunnormilasari	366 m	15:44	0.84

Dari hasil kuisisioner tersebut dapat dikatakan bahwa hasil sampling sisa klor dengan pendapat masyarakat selaras.

3.6. Simulasi Sebaran Sisa Klor dengan Variasi Konsentrasi Injeksi Klor, Waktu Injeksi dan Tambahan Tempat Injeksi

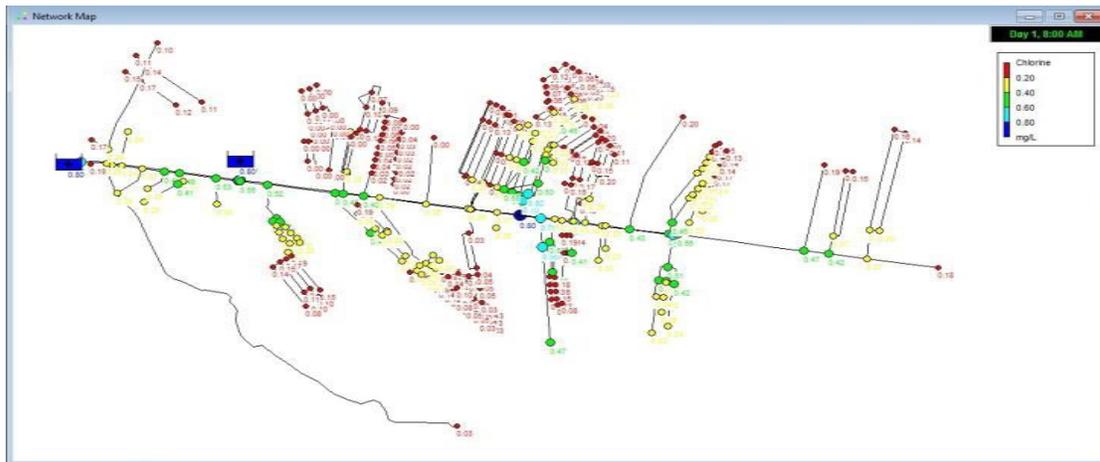
Hasil simulasi sebaran sisa klor di jaringan distribusi IPA Sungai Lulut dengan menggunakan software EPAnet diketahui bahwa perlu adanya tambahan injeksi agar seluruh pelanggan mendapatkan air distribusi dengan sisa klor yang diharapkan yaitu 0,2-0,5 mg/L. Dari simulasi kondisi eksisting diketahui pada jarak 1000 m dari letak injeksi terlihat bahwa sebaran sisa klor banyak terdapat nilai sisa

klor di bawah dari 0,2 mg/l. Sehingga dilakukanlah beberapa simulasi dengan penambahan injeksi klor di beberapa titik.

Simulasi 1

Simulasi pertama dilakukan setelah di *running* diketahui bahwa hasil *Query* dari simulasi tersebut yaitu terdapat 46 titik yang sisa klor bebasnya *above* 0,5 mg/L dan 174 titik yang sisa klornya *below* 0,2 mg/L.

Dari simulasi pertama jika dibandingkan dengan simulasi eksisting untuk titik yang sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/L lebih sedikit, namun lebih banyak titik yang sisa klor bebas di atas 0,5 mg/L.

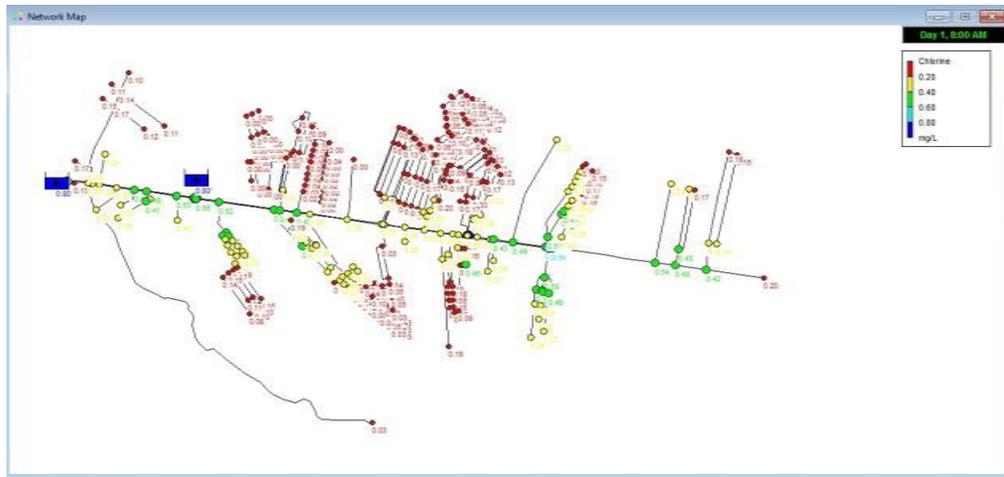


Gambar 5. Hasil Simulasi 1 Sebaran Sisa Klor Pada Pukul 08.00

Simulasi 2

Simulasi kedua dilakukan setelah di *running* diketahui bahwa hasil *Query* dari simulasi tersebut yaitu terdapat 21 titik yang sisa klor bebasnya *above* 0,5 mg/L dan 213 titik yang sisa klornya *below* 0,2 mg/L.

Dari simulasi kedua jika dibantingkan dengan simulasi pertama untuk titik yang sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/L lebih banyak, namun lebih sedikit titik yang sisa klor bebas di atas 0,5 mg/L.

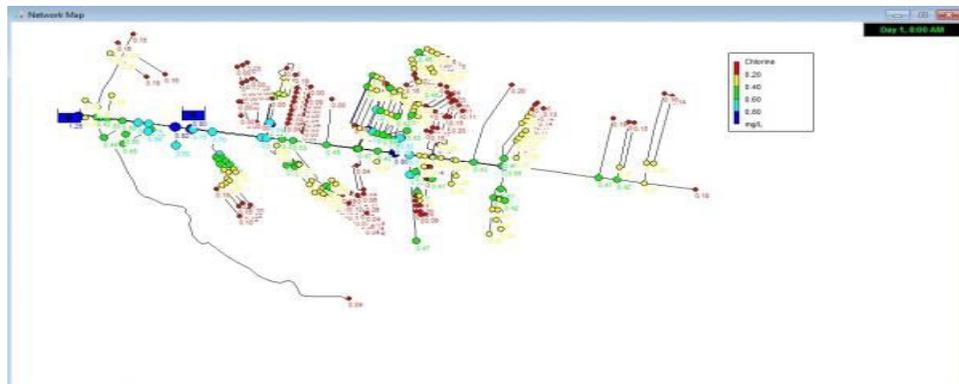


Gambar 6. Hasil Simulasi 2 pada pukul 08.00

Simulasi 3

Simulasi ketiga dilakukan setelah di *running* diketahui hasil *Query* dari simulasi tersebut yaitu terdapat 53 titik yang sisa klor bebasnya *above* 0,5 mg/L dan 153 titik yang sisa klornya *below* 0,2 mg/L.

Dari simulasi ketiga jika dibandingkan dengan simulasi kedua untuk titik yang sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/L lebih sedikit, namun lebih banyak titik yang sisa klor bebas di atas 0,5 mg/L.



Gambar 7. Hasil Simulasi 3 pada pukul 08.00

Simulasi 4

Simulasi keempat dilakukan setelah di *running* diketahui hasil simulasi seperti pada Gambar 3. Diketahui bahwa hasil *Query* dari simulasi tersebut yaitu terdapat 33 titik yang sisa klor bebasnya *above* 0,5 mg/L dan 180 titik yang sisa klornya *below* 0,2 mg/L.

Dari simulasi keempat jika dibandingkan dengan simulasi ketiga untuk titik yang sisa klor bebas di bawah 0,2 mg/L lebih banyak, namun lebih sedikit titik yang sisa klor bebas di atas 0,5 mg/L.



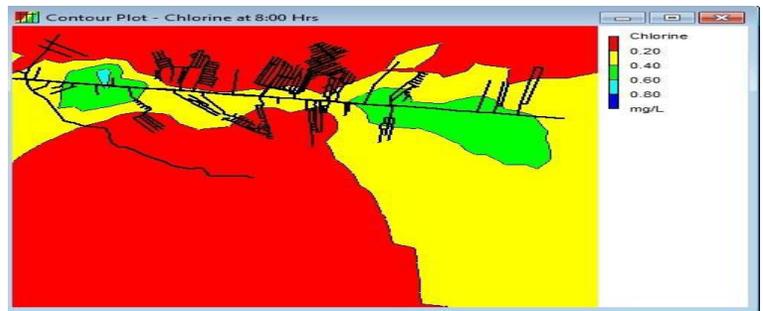
Gambar 8. Hasil Simulasi 4 pada pukul 08.00

Dari keempat simulasi dapat dibandingkan seperti pada Tabel 4. Untuk hasil simulasi yang terbaik adalah simulasi keempat, namun tidak ekonomis karena menambahkan lebih dari satu injeksi.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Simulasi pada pukul 08.00

No	Simulasi	Hasil Query (Above 0,5 mg/L)	Hasil Query (Below 0,2 mg/L)
1	Eksisting	14	278
2	Pertama	46	174
3	Kedua	21	213
4	Ketiga	53	153
5	Keempat	33	180

Jika menggunakan simulasi pertama akan lebih banyak sisa sebaran klor di atas 0,5 mg/L. Sedangkan jika menggunakan simulasi kedua sisa sebaran klor dibawah 0,2 mg/L yang lebih banyak dibanding simulasi 1. Menurut pendapat saya, simulasi 2 yang mendekati harapan. Seperti pada Gambar dapat dilihat *Contour Plot* sebaran sisa klor bebas pada Simulasi 2.



Gambar 9. *Contour Plot* Sebaran Klor Simulasi 2 pada pukul 08:00 pada Simulasi 2

4. KESIMPULAN

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

1. Dari hasil penelitian diketahui bahwa letak posisi injeksi, dosis serta waktu injeksi klor mempunyai pengaruh terhadap sebaran sisa klor bebas. Semakin dekat rumah pelanggan dengan tempat injeksi klor semakin besar pula sisa klor yang diterima pelanggan, begitupula sebaliknya semakin jauh rumah pelanggan semakin kecil sisa klor yang diterima pelanggan. Waktu injeksi menjadi salah satu hal yang berpengaruh karena semakin lama sisa klor berada di dalam pipa maka makin berkurang nilai dari sisa klor tersebut.
2. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat perbedaan sisa klor yang diterima pelanggan. Mulyadi dengan jarak 763 m dari injeksi awal klor terdapat 0,33 mg/L sisa klor sedangkan Lia dengan jarak 726 m dari injeksi awal klor terdapat 0,44 mg/L sisa klor serta Hadran dengan jarak 366 dari injeksi awal terdapat 0,84 mg/L sisa klor. Sehingga dapat dikatakan pola distribusi sebaran sisa klor selaras dengan persepsi masyarakat Sungai Lulut. Adapun perbedaan terhadap hasil simulasi eksisting, hal itu disebabkan oleh pengukuran dilapangan secara manual tanpa alat pengukur debit aliran.
3. Dari hasil keempat simulasi, maka simulasi 2 yang dapat mempresentasikan simulasi lokasi, dosis dan waktu injeksi klor dengan jarak penambahan injeksi baru 1464 m dari injeksi awal. Hal itu dikarenakan pada jarak terjauh di pukul 08.00 sisa klor yang tersisa adalah 0.2 mg/L. Dan dari hasil simulasi terlihat jika hasil sisa klor diata 0.5 mg/L lebih sedikit. Dari segi ekonomis juga hanya perlu menambah satu tempat injeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa. (2007). *Studi Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Paket Program EPANET Versi 2.0 pada Sungai Bilu Kota Banjarmasin*. Universitas Brawijaya. Malang
- Agustina, Dian Vitta. (2007). *Analisa Kerja Sistem Distribusi Air Bersih PDAM Kecamatan Banyumanik di Perumnas Banyumanik (Studi Kasus Perumnas Banyumanik Kel. Sronдол Wetan)*. Tesis Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- Ali. (2010). *Monograf Peran Proses Desinfeksi Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produksi Air Bersih*. Surabaya: Penerbit UPN press, Cetakan 1.
- Asmadi dkk. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Penerbit Gosyen Publishing.
- 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 Analisa Kesehatan Sains, Vol. 01 No. 02*.
- 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*
- Listyaningrum. (2014) . *Analisis Simulasi Konsentrasi Klorin Dalam Pipa Distribusi Penyediaan Air Minum PDAM Demak Zona 3*. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

- 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. *Rekepitulasi Jumlah Pelanggan PDAM Bandarmasih*. PDAM Bandarmasih Departemen Pelayanan dan Pemasaran. Banjarmasin
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I., No.492/Menkes/PER/IV/2010 *tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*, Departemen Kesehatan R.I. Jakarta.1990
- Riduan, R., Firmansyah, M., & Fadhilah, S. (2016). Evaluasi Tekanan Jaringan Distribusi Zona Air Minum Prima (ZAMP) PDAM Intan Banjar Menggunakan EPANET. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)* 3.
- Riduan, R., Rusdiansyah, A., & Suhartanto, E. (n.d.). Evaluasi Debit dan Tekanan Melalui Simulasi Kebutuhan Air Pada Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Kota Kandangan Propinsi Kalimantan Selatan. *Teknologi dan Kejuruan* 31.
- Romadhoni, Dwi Cahyo. (2006). *“Studi Perencanaan dan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih Pada Mata Air Ngesong Kota Batu” Skripsi* Tidak Diterbitkan. Malang : Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Rossman, Lewis A.. (2000). *EPANET User Manual*, Cincinatti, ohio, U.S.A : Water Supply and Water Resources Division of U.S Enviromental Protection Agency’s National Risk Management Research Laboratory. Alih bahasa : EKAMITRA Engineering
- Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, C. (2015). Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas di Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)* 1 (1).
- 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
- Sudirman, Andry (2012). *Analisa Pipa Jaringan Distribusi Air Bersih di Kabupaten Maros Dengan Menggunakan Software EPANET 2.0*. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Administrasi Dilengkapi dengan Metode R&D*. Bandung: Penerbit ALFABETA.
- Sutrisno. (2006). *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Penerbit PT. Rineka Cipta, Cetakan 6
- Syahputra. (2012). *Analisis Sisa Chlor Pada Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Semarang*. UNISSULA. Semarang