

ANALISA KEBERADAAN SISA KLOOR BEBAS PADA JARINGAN DISTRIBUSI PDAM KABUPATEN BANTUL DENGAN EPANET

2.0

Agfian Ijlal Ramadhan dan Naniek Ratni J A R

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: nanik_rjar@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kualitas air bersih adalah standar bagi perusahaan air minum pada saat air didistribusikan dari Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPA). Langkah pengolahan yang penting untuk mendapatkan air yang bersih yaitu menghilangkan partikel, seperti bakteri pathogen dari air baku tersebut supaya layak untuk dikonsumsi. Untuk menghilangkan bakteri patogen tersebut dilakukan desinfeksi. Desinfektan yang sering digunakan yaitu klor. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis keberadaan sisa klor bebas dalam jaringan distribusi PDAM Kabupaten Bantul dengan EPANET 2.0. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan analisis korelasi dan regresi, sedangkan tabel dan grafik merupakan penjelasan dari analisis deskriptif. Pengambilan sampel menggunakan Purposive Sampling sebanyak 80 sampel. Menurut Permenkes RI 492/MENKES/PER/VI/2010 rata-rata sisa klor pada pipa distribusi untuk pagi dan siang hari masih memenuhi baku mutu. Serta syarat rata-rata suhu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan pH rentang 6,5 - 8,5 sudah terpenuhi. Terdapat hubungan semakin menurun konsentrasi sisa klor maka semakin tinggi nilai pH namun tidak terdapat korelasi antara suhu dan sisa klor.

Kata kunci: klor, pH, suhu, jaringan distribusi, EPANET.

ABSTRACT

The quality of clean water is a standard for drinking water companies when water is distributed from a Clean Water Treatment Installation (CWTI). To remove all particles from the raw there is important processing steps to obtain clean water such as pathogenic bacteria so that it is suitable for consumption. To remove of these pathogenic bacteria, using disinfection. The disinfectant that is often used is chlorine. The purpose is to analyze the presence of free chlorine residual in the distribution network of PDAM Bantul Regency with EPANET 2.0. This study is a quantitative study using correlation and regression analysis, while descriptive analysis is explained through tables and graphs. Sampling using purposive sampling as many as 80 samples. According to Permenkes RI 736 / MENKES / PER / VI / 2010, the average residual chlorine in the distribution pipe for the morning and afternoon. Also the conditions for an average temperature of $\pm 3^{\circ}\text{C}$ and a pH range of 6.5 - 8.5 have been met. There is a relationship about the decreasing concentration of residual chlorine, the higher the pH value, but there is no correlation between temperature and residual chlorine.

Keywords: chlorine, pH, temperature, distribution network, EPANET.

PENDAHULUAN

Kualitas air bersih merupakan standar bagi perusahaan air minum pada saat air didistribusikan dari Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPA). Akan tetapi kualitas air khususnya sisa klor (desinfektan) dan pada saat memasuki jaringan distribusi air masih kurang mendapat perhatian pada saat perencanaan maupun operasional.

Salah satu infrastruktur yang berperan dalam menyediakan air bersih untuk masyarakat adalah Instalasi Pengolahan Air yang ada pada PDAM Kabupaten Bantul. PDAM Kabupaten Bantul menggunakan beberapa macam pengolahan untuk mereduksi baku mutu air yang melebihi batas maksimum dengan pengolahan antara lain; koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi dll. Menurut (Sofia, 2015), terdegradasinya bakteri patogen dalam air belum terjamin dari beberapa pengolahan. Salah satu cara menghilangkan bakteri patogen adalah dengan cara desinfeksi. Desinfektan yang sering digunakan yaitu klor. Adanya residu dari klor terjadi akibat proses klorinasi air. Terdapat 2 bentuk sisa dari klor yakni klor bebas dan klor terikat. Pada sisa klor yang terikat, klorin diikat secara alamiah pada air, namun klor bebas, bila ditambahkan secukupnya dapat memproduksi klor bebas. Dalam penambahan klor kita perlu melihat beberapa hal. Menurut Permenkes No.736/Menkes/PER/IV/2010, adanya senyawa klor bebas 0,2-1 mg/l pada distribusi jaringan adalah yang diperbolehkan (Reri A, 2016). Menurut (Fuadi, 2012), jika adanya sisa klor bebas kurang dari 0,2mg/l dalam jaringan pipa distribusi hal ini perlu diperhatikan, karena diperkirakan menjadi penyebab kemampuan desinfektan berkurang sehingga meningkatkan jumlah patogen, dan jika sisa klor bebas di dalam pipa distribusi melebihi 1 mg/l maka air baku akan memiliki sifat karsinogenik dan akan berbahaya bagi siapa saja yang mengonsumsi air tersebut. Banyaknya keluhan pelanggan yang mengeluhkan bau klor yang menyengat merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh PDAM Bantul, diharapkan penelitian ini dapat membantu menyelesaikan masalah pada sistem distribusi PDAM Bantul.

Oleh karena itu, diperlukan pengawasan untuk mengontrol kadar sisa klor yang berlebih/kurang. Perbandingan yang tepat antara jarak pipa, kondisi pipa dan kualitas air

menjadi indikator keberhasilan proses desinfeksi pada proses pengolahan air minum.

Dengan adanya analisa penurunan sisa klor pada jaringan distribusi air minum diharapkan dapat mengetahui keadaan konsentrasi sisa klor yang masih tersisa di jaringan distribusi masih memenuhi standar atau perlunya penambahan pos-pos klorinasi apabila konsentrasi klor tidak memenuhi.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif untuk analisis korelasi dan regresi, serta menggunakan tabel dan grafik untuk menjelaskan analisis deskriptif. Pengambilan sampel menggunakan Purposive Sampling sebanyak 80 sampel. Untuk analisa penyebaran sisa klor menggunakan bantuan aplikasi EPANET 2.0.

Tahap Persiapan

Dalam persiapan penelitian ini dilakukan studi literatur untuk mengetahui teori penggunaan EPANET 2.0 untuk menganalisis keberadaan residu klor bebas di jaringan distribusi PDAM Kabupaten Bantul dan untuk mengurangi jumlah residu klor bebas.

A. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk menganalisis sisa klor bebas di jaringan distribusi PDAM Kabupaten Bantul dengan EPANET 2.0 dengan melakukan survey untuk mendapatkan informasi tentang kondisi eksisting jaringan distribusi pipa PDAM Kabupaten Bantul dilanjutkan menentukan lokasi titik pengambilan sampel pada pipa jaringan yang sudah ditentukan. Lokasi titik sampling antara lain Reservoir Beji, Beji Wetan, kabrokan Kulon dan Ngincep. Setelah diketahui lokasi titik sampling maka dilakukan pengambilan sampel guna mengukur parameter suhu, pH, dan sisa klor.

B. Tahap Analisa Parameter

Dilakukan analisa data parameter pada data yang telah dikumpulkan. Analisa data menggunakan aplikasi minitab. pada tahap analisis ini dilakukan analisis statistik antar parameter yaitu pH terhadap sisa klor dan suhu terhadap sisa klor yang dilanjutkan dengan regresi linier.

C. Tahap Simulasi EPANET 2.0

Tahap simulasi EPANET 2.0 diawali dengan analisis hidrolis terhadap kondisi eksisting pipa jaringan distribusi PDAM Kabupaten Bantul. Dilanjutkan dengan analisa kualitas air (sisa klor) pada aplikasi EPANET 2.0, lalu dilakukan kalibrasi data sisa klor hasil observasi lapangan dengan data sisa klor hasil dari *running* EPANET 2.0. Pada tahapan terakhir menganalisa hasil *running* EPANET 2.0 berupa peta sebaran sisa klor dalam jaringan untuk mengetahui penyebaran sisa klor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Sampling dan Uji Kualitas Air

A. Lokasi Titik Sampling

Setelah memahami jaringan distribusi PDAM unit Kamijoro, maka ditentukan titik pengambilan sampel. Dalam penelitian ini terdapat tiga titik pengambilan sampel. Pada titik pengambilan sampel dari wilayah pelayanan, titik uji diambil di rumah warga yang dilayani oleh PDAM unit Kamijoro, dan sampel air yang diambil dari kran PDAM di rumah pelanggan. Untuk sampel yang berasal dari instalasi, air diambil dari kran air pertama hasil pengolahan atau pada reservoirnya. Tabel-1 merupakan lokasi titik pengambilan sampel.

Tabel-1 Lokasi Titik Sampling

No	Titik Sampling
1	Reservoir Beji
2	Beji Wetan
3	Kabrokan Kulon
4	Ngincep

B. Hasil Uji Parameter Kualitas Air

Terdapat tiga parameter kualitas air yang diujikan pada sampel dalam penelitian ini yang merupakan air distribusi dari PDAM Bantul unit Kamijoro yaitu kadar klor bebas, suhu, dan pH.

Klor Bebas

Berdasarkan pengukuran sisa klor yang dilaksanakan selama 4 minggu didapatkan hasil rata-rata sisa klor yang berbeda baik pagi hari ataupun siang hari. Kadar sisa klor pagi hari pada minggu pertama sebesar 0,35 mg/l, untuk minggu ke dua sebesar 0,37 mg/l, pada minggu ketiga yaitu 0,34 mg/l, dan pada minggu

keempat sebesar 0,32 mg/l. Sedangkan pada siang hari untuk minggu pertama sebesar 0,27 mg/l, untuk minggu kedua sebesar 0,31 mg/l, lalu pada minggu ketiga sebesar 0,35 mg/l, dan pada minggu keempat sebesar 0,31 mg/l.

Suhu

Suhu air pada air sampel tertinggi yaitu untuk parameter suhu baku mutu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dengan suhu udara. Dari hasil pengukuran suhu air selama 4 minggu pada pagi hari yaitu diperoleh rata-rata 27°C dan pada siang hari diperoleh rata-rata $28,8^{\circ}\text{C}$. Sehingga dari hasil yang didapatkan tersebut sudah memenuhi syarat $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

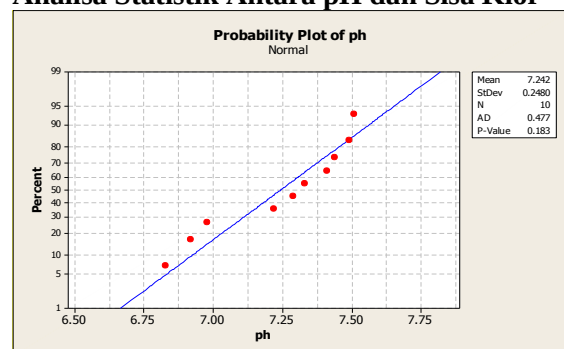
pH

Rata-rata nilai pH yang di dapatkan pada sampling pukul 08.00 antara 7–7,5, sementara pada pukul 12.00 antara 6,9–7,5. pH yang di dapatkan telah memenuhi syarat, sesuai PERMENKES 492 tahun 2010 yang diperbolehkan sebesar 6,5–8,5.

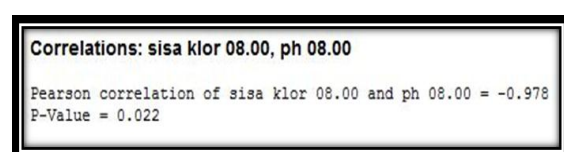
C. Hasil Analisa Statistik Antar parameter

Setelah mengetahui hasil dari pemeriksaan di lapangan maka akan dilakukan analisa korelasi antar parameter yaitu pH terhadap sisa klor dan suhu terhadap sisa klor lalu dilanjutkan dengan menggunakan analisa menggunakan regresi linier.

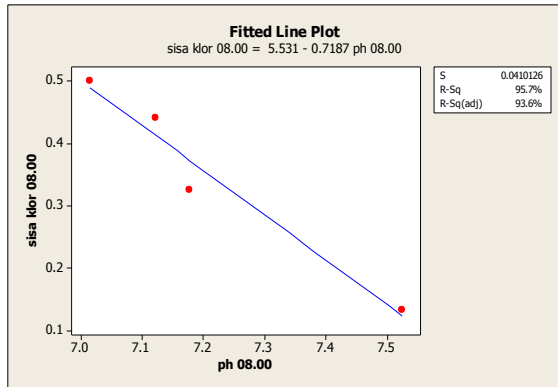
Analisa Statistik Antara pH dan Sisa Klor



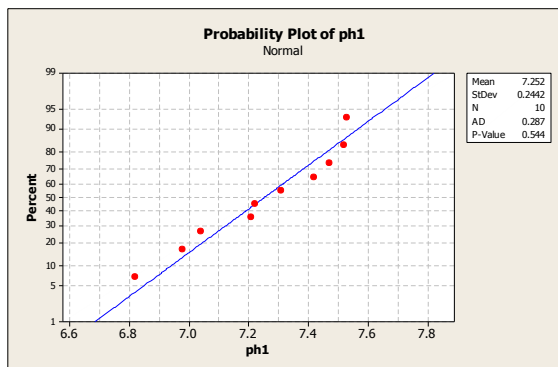
Gambar-1 Hasil Uji Normalitas pH Pukul 08.00



Gambar-2 Hasil Uji Korelasi Antara pH dan Sisa Klor Pukul 08.00



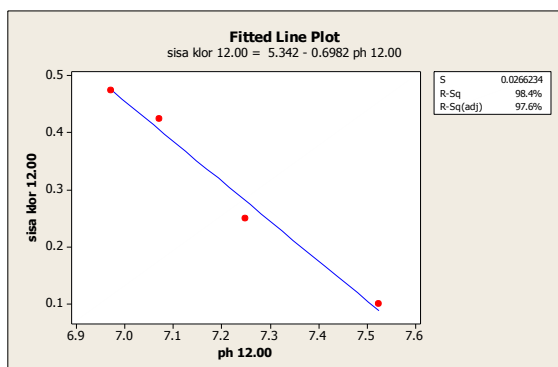
Gambar-3 Hasil Uji Regresi Antara pH dan Sisa Klor Pukul 08.00



Gambar-4 Hasil Uji Normalita pH Pukul 12.00



Gambar-5 Hasil Uji Korelasi Antara pH dan Sisa Klor Pukul 12.00



Gambar-6 Hasil Uji Regresi Antara pH dan Sisa Klor Pukul 12.00

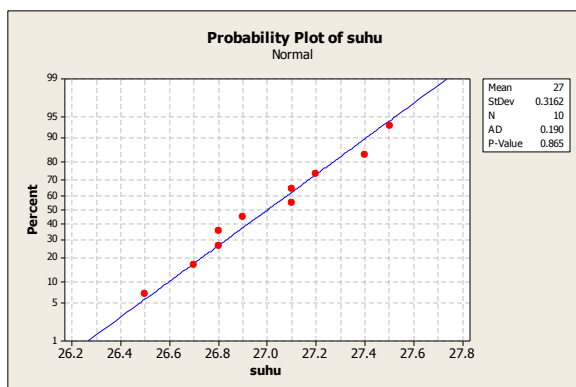
Berdasarkan gambar 1 dan 4 nilai normalitas pH pada parameter pH didapatkan kesimpulan data parameter suhu telah berdistribusi normal yang dilihat dari nilai $p_value > 5\%$. P_value pH pukul 08.00 adalah

0,183 dan P_value pH pukul 12.00 adalah 0,544. Berdasarkan gambar 2 dan 5 didapatkan nilai p_value pada pukul 08.00 sebesar 0,022 ($<0,05$) dan pada pukul 12.00 sebesar 0,008 ($<0,05$) yang memiliki arti adanya korelasi antara pH dan sisa klor pada pukul 08.00 dan 12.00. Nilai korelasi antara pH dengan sisa klor pukul 08.00 adalah -0,987 sementara pukul 12.00 yaitu -0,922, nilai 0,987 dan 0,922 menunjukkan hubungan antara sisa klor dan pH yang memiliki tingkat hubungan kuat. Tanda (-) mempunyai arti bahwa semakin rendah nilai sisa klor dalam air, nilai pH akan semakin meningkat. Sehingga dapat dikatakan bahwa pH mempunyai hubungan dengan keberadaan sisa klor pada jaringan distribusi air minum. Dilanjutkan dengan analisa regresi linear didapatkan persamaan $y = 5,531 - 0,7187x$ dan $y = 5,342 - 0,6982x$. Untuk grafik pukul 08.00 didapatkan nilai R^2 sebesar 95,7% atau 0,957 dan grafik pukul 12.00 didapatkan nilai R^2 sebesar 98,4% atau 0,984 dengan demikian dapat diartikan variabel pH berpengaruh terhadap variabel sisa klor dilihat dari nilai R^2 . Nilai p_value pada pukul 08.00 sebesar 0,022 dan pada pukul 12.00 sebesar 0,008 yang memiliki arti adanya korelasi antara pH dan sisa klor.

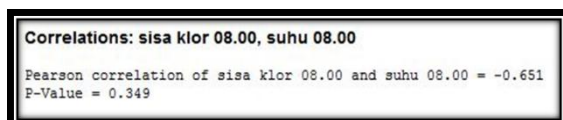
Berdasarkan hasil penelitian, semakin konsentrasi sisa klor menurun maka semakin nilai pH naik. Nilai pH Reservoir Beji pada pukul 08.00 sebesar 7,015. Hasil tersebut dapat dikatakan bahwa daya kerja klor berhubungan dengan perubahan pH dalam air. Dari hasil pengukuran pH tersebut menunjukkan bahwa proses desinfeksi berjalan efektif karena air berada pada suasana basa lemah. Jumlah OCI^- (ion hipoklorit) dalam larutan dan $HOCl$ (asam hipoklorit) dikontrol oleh nilai pH. Klorinasi efektif pada pH netral atau basa lemah, sedangkan pada pH basa ($>8,5$) daya desinfeksi klor akan berkurang (Hermiyanti, 2017). Klorin membunuh patogen seperti bakteri dan virus dengan memutus ikatan kimi pada molekul. Disinfektan yang digunakan terdiri dari senyawa klor yang dapat menukar atom dengan senyawa lain, seperti enzim pada bakteri dan sel lain. Ketika enzim bersentuhan dengan klorin, satu atau lebih atom hidrogen dalam molekul akan tergantikan oleh klor. Inilah sebabnya seluruh molekul berubah bentuk atau rusak. Ketika enzim tidak dapat berfungsi dengan baik, maka bakteri atau sel akan mati. Asam hipoklorit ($HOCl$, yang mana netral

secara elektrik) dan ion hipoklorit (OCl^- , secara elektrik negatif) akan membentuk klorin bebas jika terikat bersama. Ini menghasilkan desinfeksi. Kedua zat tersebut memiliki perilaku yang sangat khas. Asam hipoklorit lebih reaktif dan merupakan desinfektan yang lebih kuat daripada ion hipoklorit. Asam hipoklorit dipecah menjadi atomair oksigen (O) dan asam klorida (HCl). Disinfektan yang kuat adalah atom oksigen. Sifat desinfektan klorin dalam air didasarkan pada kekuatan oksidasi atom oksigen bebas dan reaksi substitusi klorin.

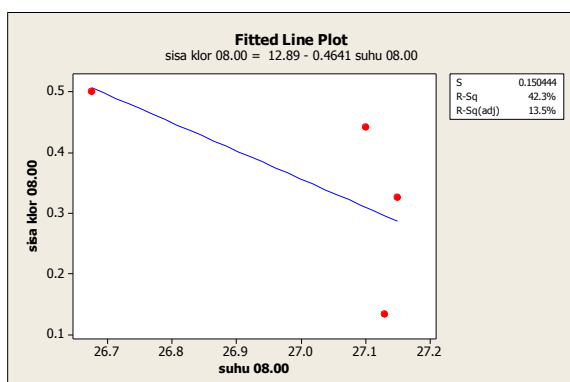
Analisa Statistik Antara Suhu dan Sisa Klor



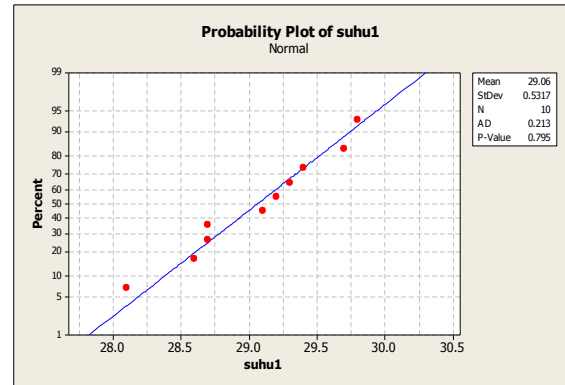
Gambar-7 Hasil Uji Normalitas Suhu Pukul 08.00



Gambar-8 Hasil Uji Korelasi Antara Suhu dan Sisa Klor Pukul 08.00



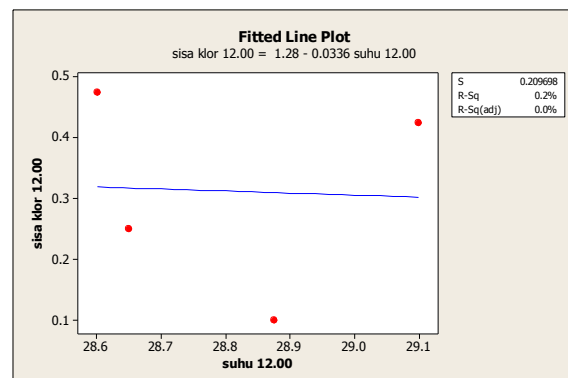
Gambar-9 Hasil Uji Regresi Antara Suhu dan Sisa Klor Pukul 08.00



Gambar-10 Hasil Uji Normalitas Suhu Pukul 12.00



Gambar-11 Hasil Uji Korelasi Antara Suhu dan Sisa Klor Pukul 12.00



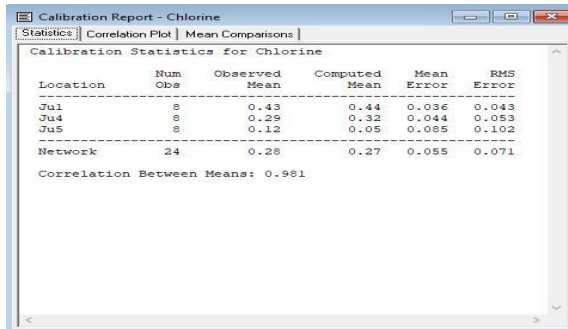
Gambar-12 Hasil Uji Regresi Antara Suhu dan Sisa Klor Pukul 12.00

Nilai suhu air pada pukul 08.00 berkisar 26-27°C sedangkan pada pukul 12.00 28,6-28,8°C. Setelah dilakukan uji normalitas parameter suhu Berdasarkan gambar 7 dan 10 didapatkan kesimpulan data parameter suhu telah berdistribusi normal yang dilihat dari nilai $p_value > 5\%$. P_value suhu pukul 08.00 adalah 0,865 dan P_value suhu pukul 12.00 adalah 0,795.

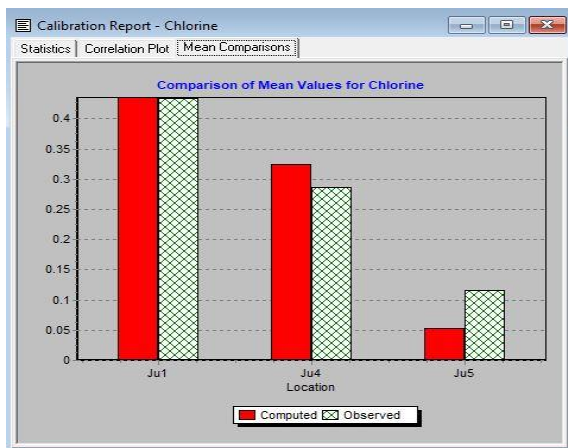
Berdasarkan gambart 8 dan 11 nilai p_value antara suhu dan sisa klor pada pukul 08.00 sebesar 0,349 dan pada pukul 12.00 sebesar 0,955 yang memiliki arti bahwa tak ada korelasi yang terjadi antara sisa klor dan suhu.

Nilai korelasi antara suhu dan sisa klor adalah -0,651 pada pukul 08.00 dan -0,045 pada pukul 12.00. Nilai 0,651 dan 0,045 menunjukkan bahwa hubungan antara pH dan sisa klor adalah sedang pada pagi hari dan lemah pada siang hari. Tanda (-) memiliki arti semakin tinggi suhu dalam air, maka semakin rendah nilai sisa klor.

Kalibrasi Parameter Sisa Klor Kondisi Eksisting Sistem Distribusi



Gambar-13 Report Calibration Statistic for Chlorine menggunakan data sampling

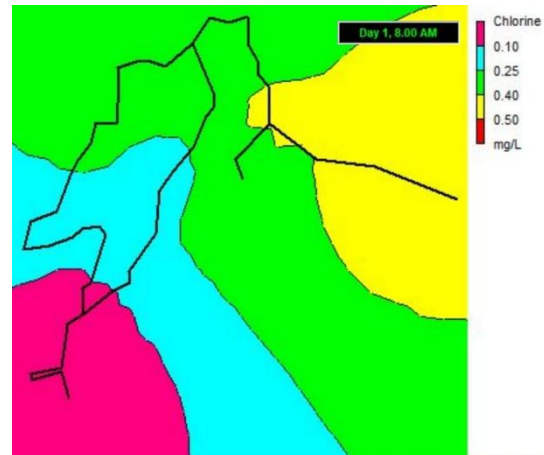


Gambar-14 Perbandingan Data Analisa EPANET dan Data Observasi

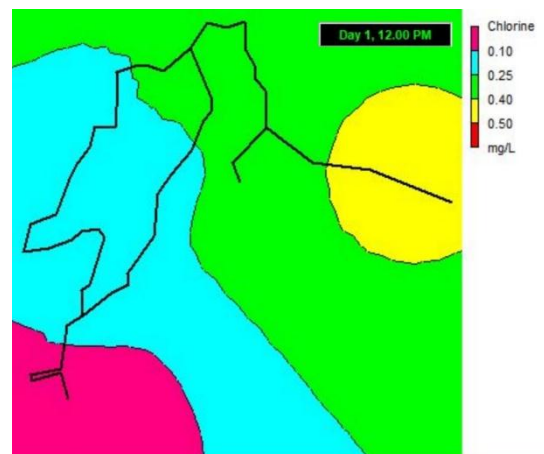
Berdasarkan perhitungan kalibrasi EPANET, nilai RMSE yaitu 0,071. Dengan nilai korelasi 0,981 hampir dekat dengan nilai 1. Berikut merupakan nilai hasil pengamatan tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi sehingga tingkat akurasi tinggi. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa perubahan nilai yang dihasilkan oleh prediksi mendekati nilai yang diobservasi. Semakin tinggi nilai RMSE maka akurasi semakin rendah, begitu pula sebaliknya (Elma Sofia 2017).

Hasil Simulasi Pola Sebaran Sisa Klor Sistem Distribusi Pelayanan PDAM Bantul

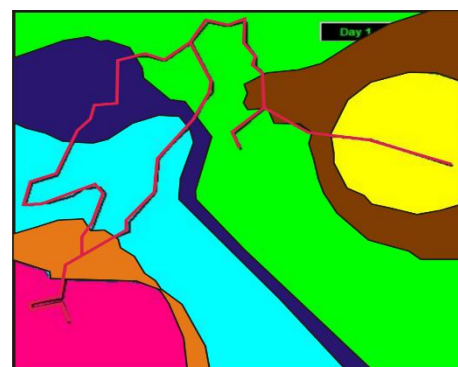
Guna mengetahui penyebaran sisa klor pada pelanggan dilakukan simulasi konsentrasi klor yang diinjeksi ke dalam air distribusi PDAM Bantul. Untuk simulasi yang menggunakan data kualitas air distribusi atau data sisa klor air distribusi dengan kadar sisa klor yaitu 0,5 mg/l dan 0,475 mg/l dalam waktu simulasi 24 jam.



Gambar-15 Contour Plot Sebaran Klor pada 08.00



Gambar-16 Contour Plot Sebaran Klor pada 12.00



Gambar-17 Contour Plot Sebaran Klor pada 12.00

Untuk mengetahui nilai khusus yang ditunjukkan pada area peta menggunakan *Contour Plot*. Gambar 15 dan 16 *contour plot* yang berwarna kuning menunjukkan area dengan nilai sisa klor diatas 0,4 mg/l untuk warna hijau menunjukkan area dengan nilai sisa klor diatas 0,25 mg/l lalu yang berwarna biru memperlihatkan area sisa klor dengan nilai diatas 0,1 mg/l dan yang berwarna pink merupakan area dengan nilai sisa klor 0,1 mg/l. Untuk *contour plot* pada pukul 08.00 terdapat 4 titik yang memiliki nilai sisa klor dibawah 0,25 mg/l dan 5 diantaranya diatas 0,25 mg/l. Sedangkan *contour plot* pada pukul 12.00 terdapat 5 titik yang memiliki nilai sisa klor dibawah 0,25 mg/l dan 4 diantaranya diatas 0,25 mg/l. Bagi pelanggan dengan jarak distribusi air yang cukup jauh dari reservoir maka akan habis sisa klor dalam sistem jaringan, pada simulasi pukul 08.00 dan 12.00 nilai sisa klor yang dihasilkan pelanggan jauh dari reservoir kurang dari 0,2 mg/l dan jaraknya $\leq 2,8$ km. Dalam penelitian Elma S (2015) jika kandungan sisa klor pelanggan kurang dari 0,2 mg/ bakteri patogen di dalam air akan tetap ada. Tujuan desinfeksi adalah menghilangkan bakteri patogen dalam air bersih. Namun, bila klor tersisa kurang dari 0,2 mg/l maka bakteri patogen tetap ada, maka kesehatan pelanggan akan terdampak apabila dikonsumsi.

Berdasarkan gambar 17 didapatkan irisan overlap yang ditandai dengan warna orange, biru tua, dan coklat. Pada pukul 8 dan 12 ketika dioverlap didapatkan irisan perbedaan nilai sisa klor yaitu pada Ju2, Ju5, Ju7 dan Ju9. Selain nilai sisa klor didapatkan juga perbedaan nilai kecepatan pada pipa dimana kecepatan aliran pada pukul 8 cenderung lebih cepat dan perbedaan demand dimana pada pukul 8 debit yang keluar cenderung lebih besar. Oleh karena itu sisa klor pada pukul 8 cenderung lebih tinggi daripada nilai sisa klor pukul 12. Hal ini dikarenakan pada jam pemakaian yang rendah, sisa umur klor yang ada pada pipa distribusi lebih lama daripada jam puncak, yang menjelaskan adanya penurunan sisa klor pada jaringan distribusi. Lamanya sisa klor yang tersisa pada pipa distribusi disebabkan oleh kecepatan aliran yang relative rendah, sehingga sisa klor dapat bereaksi dengan air PDAM dan zat yang terkandung di dalamnya dalam waktu yang lebih lama, sehingga penurunan terjadi lebih besar pada sisa klor. (Bariqul, 2014)

Salah satu faktor menurunnya kualitas air di dalam sistem distribusi adalah umur air. Hal ini disebabkan adanya interaksi antara air serta reaksi air di dalam pipa dan dinding pipa. Reaksi fisika, biologi, dan kimia terjadi dalam sistem distribusi air. Oleh karena itu, semakin lama air dalam jaringan, maka semakin banyak air dalam sistem yang akan bereaksi sehingga kualitas air juga akan berubah. Selain itu jarak distribusi air dari reservoir ke pelanggan juga mempengaruhi penurunan sisa klor pada pelanggan. Hal ini disebabkan jarak yang dibutuhkan air untuk menjangkau pelanggan dan reaksi dalam sistem saat air berada di dalam pipa. Semakin jauh jarak antara reservoir dengan konsumen, maka klor yang tersisa cenderung semakin sedikit (Elma, 2015).

KESIMPULAN

Parameter pH dan sisa klor memiliki korelasi yang kuat sedangkan parameter suhu dan sisa klor memiliki tingkat korelasi yang rendah. Berdasarkan hasil pengukuran rata-rata sisa klor pada pipa distribusi untuk pagi hari adalah 0,14 mg/l sedangkan di siang hari adalah 0,10 mg/l. Menurut Permenkes RI 492/MENKES/PER/VI/2010 mengenai Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum keduanya tidak memenuhi syarat karena batas rata-rata sisa klor $<0,2$ mg/l. Berdasarkan hasil pengukuran rata-rata suhu pada pipa distribusi untuk pagi hari adalah 27,06°C sedangkan di siang hari adalah 28,88°C. Sehingga dari hasil yang didapatkan tersebut sudah memenuhi syarat $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Konsentrasi sisa klor masih memenuhi kondisi optimal pada jarak $\pm 2,8$ km dari reservoir. Berdasarkan hasil pengukuran rata-rata pH pada pipa distribusi untuk pagi hari adalah 7,47 sedangkan di siang hari adalah 7,53. Sehingga, berdasarkan Permenkes RI 492/MENKES/PER/VI/2010 mengenai Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum rata-rata pH pada pipa distribusi sudah memenuhi baku mutu karena masuk dalam rentang 6,5 - 8,5 sesuai baku mutu yang telah ditetapkan. Terdapat hubungan antara semakin tinggi nilai suhu dalam air minum, maka kadar sisa klor akan semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Elma Sofia, dkk. 2015. *Evaluasi keberadaan Sisa Klor Bebas di Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih*. Jurnal Teknik Lingkungan Vol 1 No. 1. Universitas Lambung Mangkurat.
- Elma Sofia, dkk. 2017. *Evaluasi dan Analisa Pola Sebaran Sisa Klor Bebas Pada Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih*. Jurnal Teknik Lingkungan Vol 3 No. 3. Universitas Lambung Mangkurat.
- Hassan. F & Masduqi. A. 2014. *Pemodelan Penurunan Sisa Chlor Jaringan Distribusi Air Minum Dengan EPANET (Studi kasus Kecamatan Sukun Kota Malang)*. Jurnal Teknik Pomits. Vol.3, No.2. ITS. Surabaya.
- Haq. B., Masduqi. A. 2014. *Sistem Distribusi Air Siap Minum PDAM Kota Malang: Studi Kasus Kecamatan Blimbing*. Jurusan Teknik Lingkungan. ITS. Surabaya.
- Hermiyanti. P & Wulandari. E. T. 2017. *Gambaran Sisa Klordan MPN Coliform Jaringan Distribusi Air PDAM*. Politeknik Kesehatan Kementrian Kesehatan Surabaya. Vol. 12 No. 2. Surabaya.
- Reri Afrianita, dkk. 2016. *Kajian Kadar Sisa Klor di Jaringan Distribusi Penyediaan Air Minum Rayon 8 PDAM Kota Padang*. Universitas Andalas.