

**SIMULASI SISA KLOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI
IPA II PRAMUKA PDAM BANDARMASIH**
*SIMULATION OF CHLOR RESIDU IN THE DISTRIBUTION NETWORK
IPA II PRAMUKA PDAM BANDARMASIH*

Muhammad Rasyad¹, Rony Riduan² dan Chairul Abdi³

*Program Studi Teknik Lingkungan, Teknik Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat
JL. A. Yani KM 36,5 Banjarbaru Kalimantan Selatan, Indonesia
E-mail: rasyadm62@gmail.com*

ABSTRAK

Pada pelayanan IPA II Pramuka masih terdapat nilai sisa klor yang lebih tinggi dari standar Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010 yaitu antara 0.2-0.5 mg/L dari hasil pemeriksaan sebesar 55,6 % masih diatas 1 mg/L. Padahal peran PDAM dalam mengelola air baku menjadi air minum sangat penting yang sesuai dengan peruntukannya. Penelitian ini bertujuan memetakan pola sebaran konsentrasi sisa klor di jaringan distribusi IPA Pramuka PDAM Bandarmasih dan mendiskripsikan pengaruh jarak terhadap kehilangan klor pada jaringan distribusi IPA Pramuka PDAM Bandarmasih. Penelitian dilakukan dengan simulasi data eksisting menggunakan software Epanet 2.0 yang kemudian dikalibrasi dengan data sisa klor dilapangan dan divalidasi dengan data flow. Analisa pengaruh jarak terhadap nilai sisa klor menggunakan analisa regresi linier dari hubungan jarak dengan konsentrasi sisa klor. Simulasi eksisting menunjukkan bahwa jam 08:00 saat jam puncak sebaran sisa klor mencapai 79 % namun hanya 2,58 % yang memenuhi baku mutu. Jarak yang berpengaruh pada pengurangan nilai sisa klor merupakan jarak pipa dan sistem perpipaan. Semakin panjang pipa dan semakin besar perubahan atau belokan yang terjadi pada pipa maka nilai sisa klornya semakin menurun.

Kata kunci: EPANET 2.0, Jarak, sisa klor

ABSTRACT

In service IPA II Pramuka there is still a residual value of chlorine which is higher than the standard Permenkes No. 492 / MENKES / PER / IV / 2010 which is between 0.2-0.5 mg / L from the results of the examination of 55.6% still above 1 mg / L. Whereas the role of the PDAM in managing raw water into drinking water is very important in accordance with its designation. This study aims to map the distribution patterns of residual chlorine concentrations in the distribution network IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih and describe the effect of distance on chlorine loss on the distribution network IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih. The study was conducted with existing data simulations using Epanet 2.0 software which was then calibrated with residual chlorine data in the field and validated with data flow. Analysis of the effect of distance on the residual value of chlorine using linear regression analysis of the relationship of distance to the concentration of residual chlorine. Existing simulation shows that at 8:00 when the peak hour of chlorine residual distribution reaches 79%, only 2.58% meets the quality standard. The distance that affects the reduction of the residual value of chlorine is the distance of the pipe and the piping system. The longer the pipe and the greater the change or turn that occurs in the pipe, the residual value of the chlorine decreases.

Keywords: EPANET 2.0, Distance, residual chlorine

1. PENDAHULUAN

PDAM Bandarmasih merupakan instansi pemerintah daerah dalam bidang penyedia air bersih untuk kebutuhan masyarakat kota Banjarmasin yang melayani 4 zona wilayah. Wilayah utara dan barat dilayani oleh IPA A. Yani sedangkan wilayah timur dan selatan dilayani oleh IPA Pramuka. Pada 2018 jumlah pelanggan di PDAM Bandarmasih mencapai lebih dari 150 ribu sambungan dan untuk daerah pelayanan IPA Pramuka terdapat ± 75 ribu sambungan. Pada air minum masih bisa terdapat kontaminasi 55,5% bakteri *Coliform* (Wandriavel, Suharti dan Lestari, 2012); 21,4 % bakteri *Coliform* (Sumiyati, Subagiyo dan Lusiana, 2015). Peran PDAM dalam mengelola air baku menjadi air minum sangat penting yang sesuai dengan peruntukannya (Tambunan, 2014). Oleh sebab itu, kualitas air dalam perpipaan yang berada di bawah tingkat yang dapat diterima dan menimbulkan risiko kesehatan yang serius perlu ditingkatkan (Lee dan Schwab, 2005).

Desinfeksi sering digunakan untuk memenuhi kualitas air minum pada parameter biologi. Pada IPA Pramuka terdapat dua proses desinfeksi yaitu pre-klorinasi dengan kaporit dan post-klorinasi dengan gas klor. Proses klorinasi tersebut terdapat pada dua tempat, di bagian wilayah timur (reservoir IPA Pramuka) dan bagian wilayah selatan (booster Gerilya). Jarak terjauh dari reservoir ke booster Gerilya $\pm 7,5$ km, sedangkan jarak terjauh dari booster ke pelanggan ± 8 km. Pada penelitian (Dewi Yani dan Roosmini, 2008) di PDAM Jaya Jakarta, kadar sisa klor akan habis pada jarak 7 km. Pada penelitian (Finansita H, 2012), di PDAM Nganjuk memperoleh bahwa kadar sisa klor akan habis pada jarak 8 km. Semakin jauh jarak yang ditempuh air akan semakin turun nilai klornya (Anggraini, Riduan dan Firmansyah, 2017). Klor pada jaringan akan berkurang 0.2-0.4 % selama 30 menit karena adanya bakteri atau berubahnya keadaan di jaringan pipa (Keung, 2015).

Pada pemantauan kualitas air, masih terdapat nilai sisa klor yang lebih tinggi dari standar Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010 yaitu antara 0.2-0.5 mg/L. Dari data januari-maret 2018 menunjukkan nilai sisa klor di wilayah pelayanan zona Timur dan Selatan sebesar 55,6 % masih diatas 1 mg/L, dengan rata-rata 1,05 mg/L (PDAM Bandarmasih, 2018). Kelebihan nilai klor dapat menyebabkan gangguan kesehatan apabila dikonsumsi terus-menerus (Wiadnya, 2015). Selain itu, nilai klor yang berlebih juga menimbulkan bau yang menyengat sedangkan nilai klor yang kecil tidak dapat diandalkan untuk menghilangkan bakteri yang menyebabkan mudahnya turun kualitas air. Bila pH air rendah, klorin akan sangat efektif (Handayani, 2008). Menurut (Sofia dan Riduan, 2017) dari pendapat pelanggan PDAM Bandarmasih dengan sisa klor tertinggi 1,24 mg/L terdapat keluhan air kadang-kadang terasa bergetah dan gatal saat digunakan. Klor yang terlalu lama berada dalam jaringan pipa dapat terjadi penumpukan endapan (scaling) sehingga dapat mengubah aliran dalam jaringan pipa (Fuadi, 2012)

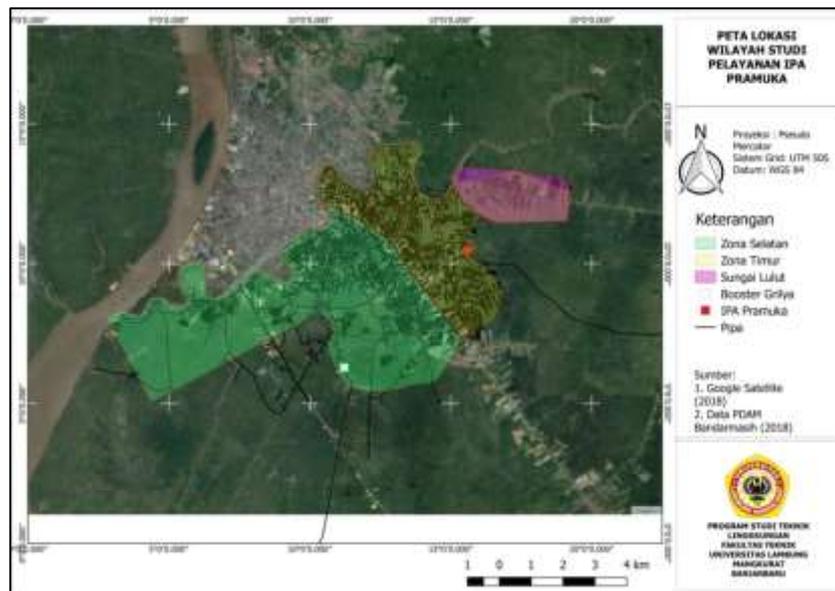
Berdasarkan uraian diatas maka akan dilakukan penelitian dengan menggunakan program EPANET. EPANET dapat membantu dalam manajemen strategi untuk merealisasikan kualitas air dalam suatu sistem seperti analisa sisa klor pada tiap node dan pipa (Zolapara, Neha dan Jaydeep, 2015). Sehingga dapat diperoleh gambaran simulasi sisa klor terbaik. Maka, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sebagai bahan pertimbangan evaluasi PDAM Bandarmasih dalam memaksimalkan kualitas air pada jaringan distribusi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

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

- a. Data sisa klor dipelanggan dan injeksi klor diambil di IPA Pramuka PDAM Bandarmasih Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan



Gambar 1 Lokasi pelayan IPA Pramuka PDAM Bandarmasih

- b. Data sistem jaringan distribusi pelayanan IPA Pramuka diambil di PDAM Bandarmasih Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan\

2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Variabel Bebas pada penelitian ini yang akan berpengaruh pada perubahan pola sebaran jaringan distribusi yaitu konsentrasi injeksi klor.
- b. Variabel Terikat pada penelitian ini yang akan berpengaruh pada variabel bebas yaitu konsentrasi sisa klor.

2.3 Prosedur Penelitian

a. Ide Studi dan Observasi Awal

Ide awal berasal dari hasil pengalaman kerja praktek dan konsultasi dengan dosen dalam menemukan solusi permasalahan distribusi konsentrasi sisa klor di jaringan IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih yang ada saat ini. Observasi dilakukan dengan pengamatan terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi air pada IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih serta penyaluran gas klor dari unit pengolahan.

b. Studi Literatur

Mengumpulkan data-data dengan mempelajari buku-buku, tulisan ilmiah yang berhubungan dengan penelitian. Referensi dapat berasal dari buku-buku pengetahuan atau E-book sesuai bidang penelitian yang bersangkutan, tulisan ilmiah dapat berupa jurnal atau E-journal dan tugas akhir, yang mana literatur-literatur tersebut didapat dari perpustakaan maupun pencarian data melalui media internet.

c. Pengumpulan Data Primer

1. Pengukuran kualitas air
 - a. Pengukuran pH dan suhu air

- pH meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara elektroda dipasang pada pH-meter dan dicelupkan ke dalam buffer pH 4 lalu ke dalam buffer pH 9 kemudian elektroda dipindahkan dan dicelupkan pada pH 7.
- Setelah pH-meter terkalibrasi, Elektroda pada pH-meter dibilas dengan air sampel.
- Elektroda dicelupkan ke dalam air sampel dan dicatat pH dan suhu yang ditunjukkan pada alat.

b. Pengukuran nilai sisa klor

Pengukuran dilakukan dengan memasukkan 10 mL air dari pelanggan yang ditambahkan 1 sachet reagen (indikator DPD) kedalam cuvet. Kemudian dihomogenkan sampai air berubah warna keunguan, selanjutnya dimasukkan kedalam alat chlorine tester dan dibaca hasilnya.

2. Data Elevasi

Melihat elevasi di tiap node, termasuk elevasi reservoir dengan melihat foto udara yang dapat diakses melalui internet dengan bantuan program Google Earth. Elevasi suatu wilayah akan ditampilkan dengan cara mengarahkan pointer pada node-node yang ditentukan sebelumnya berdasarkan peta jaringan distribusi eksisting. Selanjutnya membuat tabel hasil pengukuran sesuai dengan node yang diukur.

3. Data Debit (Flow)

Debit diukur dalam 1 liter yang keluar pada pipa pelanggan dengan menggunakan alat penghitung waktu atau stopwatch sehingga didapatkan nilai debit dalam satuan liter/detik. Pengukuran secara langsung dilakukan karena sampai pada saat ini dan pihak PDAM belum memiliki alat penghitung debit yang terpasang langsung pada lokasi-lokasi sekitar.

d. Pengumpulan Data Sekunder dan Pengolahan Input data

Data ini diperoleh dari bagian Aset dan Transmisi-Distribusi PDAM Bandarmasih. Data-data tersebut berfungsi sebagai data pendukung dalam input data program Epanet. Data yang dimaksud adalah;

- Peta Jaringan distribusi
- Data pipa (jenis, diameter)
- Data pola pemakaian air
- Data pelanggan (demand)

Data sekunder yang diperoleh masih masih belum dapat langsung digunakan. Oleh karena itu untuk data kebutuhan pelanggan dan data pola pemakaian air diolah terlebih dahulu, sedangkan nilai koefisien kekasaran pipa, diameter dan panjang pipa di input pada penggambaran peta jaringan distribusi.

1. Kebutuhan Air (base demand)

Data demand dari bagian Hubungan Langgan PDAM Bandarmasih diolah kembali untuk mengetahui kebutuhan tiap rumah per hari. Data dihitung dengan cara jumlah air yang terjual dalam sebulan dibagi dengan jumlah hari dalam bulan tersebut kemudian dikalikan dengan jumlah Sambungan Rumah (SR).

2. Pola Pemakaian Air

Data pola pemakaian air wilayah IPA Pramuka diperoleh dari laporan pengukuran 24 jam dengan menggunakan alat pengukur debit yaitu watermeter yang dipasang dipipa induk dekat pompa yang murni untuk supply ke wilayah IPA Pramuka. Alat ukur dipasang pada pipa PVC dengan diameter 800 mm. Kemudian data diolah dan dihitung untuk mengetahui fluktuasi pemakaian air per hari dan mengetahui kebutuhan jam puncak dan faktor jam puncak.

e. 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 koefisien kekasaran pipa, diameter pipa, panjang pipa. Selanjutnya, input kebutuhan air (demand) pada titik-titik pelanggan yang telah ditentukan. Kemudian, simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah gambar jaringan pada EPANET 2.0 dapat berjalan dan terhubung dengan baik.

f. Analisis Koefisien Reaksi

Koefisien reaksi merupakan nilai yang akan digunakan dalam merefleksikan laju klorin pada pipa jaringan. Ada dua koefisien yang akan dimasukkan yaitu Koefisien Bulk dan Koefisien Dinding. Nilai peluruhan yang dimasukkan merupakan hasil perhitungan. Setelah nilai didapatkan kemudian tahapan yang dilakukan di Epanet sebagai berikut.

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.

g. Kalibrasi dan Validasi Data

EPANET menyediakan tools untuk membandingkan hasil simulasi (computed) data dilapangan (observed). Hal tersebut dapat dilakukan menggunakan urutan waktu (time series) yang diplotkan untuk lokasi (node) terpilih pada jaringan. Sebelum EPANET digunakan, masukkan data kalibrasi kedalam file dan terdaftar pada proyek. Pada penelitian ini, data untuk dikalibrasi adalah nilai sisa klor dan data untuk divalidasi adalah data debit (flow). Adapun cara kalibrasi data sebagai berikut.

1. Buat file kalibrasi (chlorine) dengan format “.DAT” menggunakan Notepad Windows.
2. Isi data dengan format node, times dan value. Kemudian simpan data.
3. Buka Epanet, Pilih Project -> Calibration Data dari Menu Bar
4. Dalam Data Kaibrasi bentuk dialog, klik pada box setelah parameter yang diinginkan untuk didaftarkan
5. Ketik nama parameter atau klik tombol Browse untuk mencarinya.
6. Klik tombol Edit jika anda mau membuka File Kalibrasi pada Notepad Windows untuk mengedit
7. setelah Running Epanet, pilih Report -> Calibration untuk melihat hasil kalibrasi
8. Uangi langkah 1-7 untuk parameter yang memiliki nilai untuk validasi data.

h. Analisa 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 untuk menganalisa menggunakan program EPANET. Tahapan untuk melakukan analisa klor sebagai berikut.

1. Pilih Option-Quality untuk diedit dan data browser Pada parameter Property Editor ketik Chlorine.
2. Pindah ke Option-Reactions pada browser. Untuk Global Buik Coefficient masukkan niiai peluruhan hasil perhitungan. Angka ini merefieksikan laju klor yang akan meluruh pada saat reaksi aliran bulk sepanjang waktu. Laju tersebut akan diaplikasikan pada seluruh pipa pada jaringan.

3. Klik pada node Reservoir dan atur Initial Quality 1.0. Ini adalah konsentrasi dari klor yang secara kontinu masuk ke dalam jaringan.
4. Gunakan Option-Time kontrol waktu pada Map Browser untuk melihat bagaimana level nilai klor berubah berdasarkan lokasi dan waktu selama simulasi.

i. Analisa Pengaruh Jarak Distribusi

Pada tahapan ini, akan dilakukan evaluasi konsentrasi sisa klor terhadap pengaruh jarak dengan menggunakan analisa regresi. Analisa regresi merupakan salah satu metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel yang lain. Pada penelitian ini diambil model linier dan disajikan dalam kurva hubungan antara jarak dan nilai klor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu syarat pembuatan Zona Air Minum Prima (ZAMP) yaitu kualitas air yang didistribusikan harus memenuhi parameter kualitas air menurut Permenkes RI No 492/Menkes/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Pengambilan titik sampling untuk pengukuran data kualitas air dilakukan pada 6 titik sampling, dimana titik sampling tersebut sudah ditentukan oleh pihak PDAM yang dianggap mewakili tiap daerah yaitu Banjarmasin Timur dan Banjarmasin Selatan. Dalam pengukuran langsung dilapangan ada tiga parameter yang diukur yaitu sisa klor pH dan suhu.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Air

Node	Blok	pH	Suhu (°C)	Cl ₂ (mg/L)
J51	217	7.3	26.2	1.31
J262	222	7.1	25.9	0.89
J62	213	7.3	25.4	1.25
J108	301	7.1	26.8	1.03
J944	323	7.05	26.8	1.15
J1091	333	7.4	25.5	1.06
Persyaratan air minum PERMENKES RI NOMOR : 492/MENKES/PER/IV/2010		6.5- 8.5	suhu udara ± 3 ⁰ C	0.2-0.5

Dari data hasil pengukuran dilapangan yang dilakukan pada 6 titik sampling menunjukkan bahwa air yang didistribusikan ke wilayah IPA II Pramuka sudah cukup baik. Namun, ada satu parameter yaitu sisa klor yang belum memenuhi standar baku mutu Permenkes RI No. 482/Mankes/PER/IV/2010 Standar yang ditetapkan untuk nilai pH yaitu 6.5-8,5, suhu ±3 °C, nilai sisa klor yaitu 02-05 mg/L. tiga parameter air yang diukur mempunyai hubungan yang saling mempengaruhi satu sama lain. Dari ke enam sampel yang diperoleh, semua sampel nilai sisa klornya melebihi baku mutu yaitu diatas 0,5 mg/L.

3.1 Hasil Kalibrasi Sisa klor

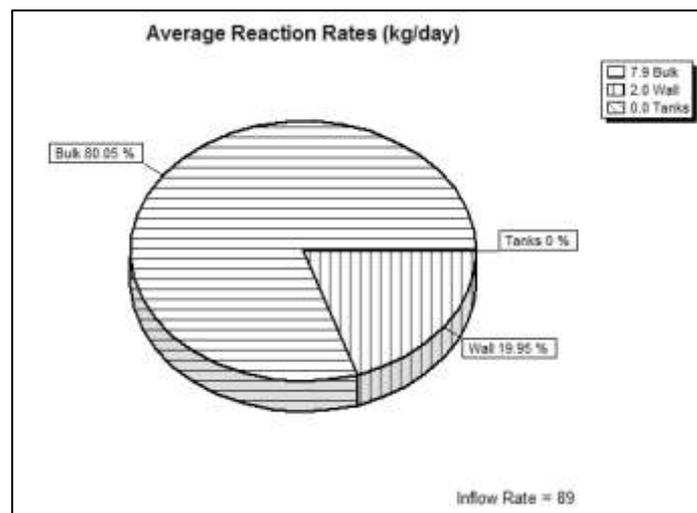
Kalibrasi file dapat membandingkan data observasi dilapangan dengan simulasi jaringan. Dari hasil simulasi EPANET 2.0 dengan pengukuran langsung dilapangan pada 6 titik jaringan distribusi yang terdapat pada blok 217 (J51), blok 222 (J262), blok 213 (J62), blok 301 (J108), blok 323 (J944), blok 333 (J1091) dapat dibandingkan dengan cara kalibrasi agar diperoleh hasil perhitungan yang mendekati keadaan dilapangan.

Calibration Statistics for Chlorine					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
J51	1	1.31	1.65	0.339	0.339
J62	1	1.25	1.03	0.224	0.224
J108	1	1.04	1.17	0.127	0.127
J944	1	1.16	1.48	0.317	0.317
J1091	1	1.06	1.04	0.022	0.022
J262	1	0.78	0.94	0.157	0.157
Network	6	1.10	1.22	0.198	0.226

Correlation Between Means: 0.662

Gambar 2. Hasil Kalibrasi untuk Sisa Klor

Untuk data kalibrasi seperti **Gambar 2.** menggunakan data yang diukur langsung dilapangan pada 6 titik lokasi distribusi air. Dari hasil kalibrasi didapatkan nilai *Root Mean Square Error* 0,226 (22.6%) dan nilai korelasi 0,663 (66%). RMSE digunakan untuk mengindikasi adanya ketidakcocokan pada pemodelan. Nilai korelasi dinyatakan kuat jika bernilai 1 atau mendekati 1. Semakin kecil nilai RMSE yang dihasilkan maka keakuratan suatu model semakin baik.



Gambar 3. Presentase Penurunan Sisa Klor

Dalam program EPANET 2.0 nilai *Global Bulk Coefficient* dimasukkan Sebesar -0.48/hari dan nilai *Global Wall Coefficient* dimasukkan sebesar -0.01 m/hari. dapat dilihat dari **Gambar 3.** presentase penurunan sisa klor disebabkan oleh *Bulk Reaction* yaitu pengurangan konsentrasi klor bebas akibat sisa klor bereaksi dengan komponen-komponen yang ada didalam air dan *Wall Reaction* yaitu pengurangan konsentrasi sisa klor bebas akibat reaksi pada dinding pipa.

Sebesar 19,95 % disebabkan oleh *wall reaction* yang dipengaruhi kekasaran pipa, panjang pipa serta material pipa yang digunakan, kekasaran pipa bergantung dari pipa yang digunakan serta umur spesifik pipa karena memiliki kekasaran pipa yang berbeda. Semakin panjang suatu pipa, maka semakin banyak reaksi yang terjadi dalam suatu jaringan. Dalam EPANET 2.0 semakin kecil nilai

Global Wall Coefficient yang dimasukkan maka nilai hasil simulasinya membesar dan semakin besar nilai *Global Wall Coefficient* maka hasil simulasinya menurun.

Presentase penurunan sisa klor oleh *Global Bulk Coefficient* sebesar 80,5 % dapat disebabkan oleh kondisi organik yang ada di air, semakin banyak bahan organik maka klor akan semakin cepat hilang. *Global Bulk Coefficient* berpengaruh terhadap *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 menjadi semakin lama, begitupun sebaliknya semakin cepat kecepatan aliran maka waktu tinggal menjadi semakin singkat. Reaksi Bulk juga dapat bertambah seiring dengan meningkatnya suhu.

3.2 Simulasi Pola Sebaran Sisa Klor

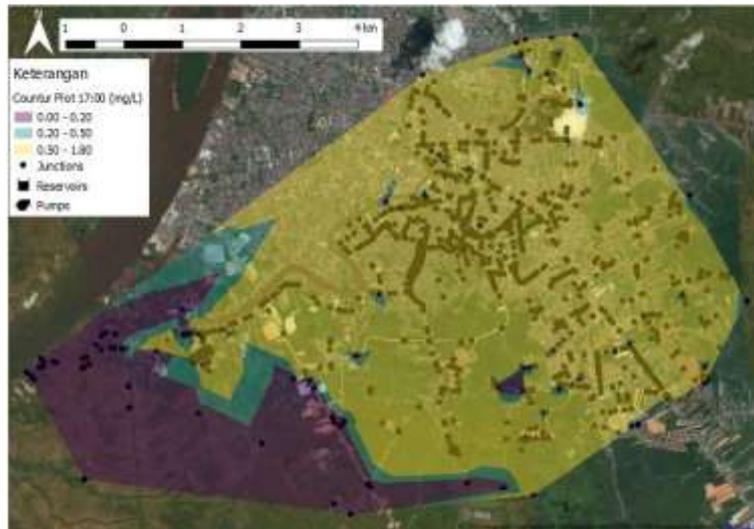
Pada jam 08:00 sebaran sisa klor mencapai 79 % namun hanya 2,58 % yang memenuhi baku mutu. Nilai yang memenuhi baku mutu ini terdapat pada pelayanan Banjarmasin Selatan di jalan (Jln Kelayan B Tawah Bangkal Luar, Jln Tawah Desa Belayung Baru, dan Jln Kelayan B Tengah) dan pada pelayanan banjarmasin timur pada jalan (Jl Gatot Subrot X, Jl Pramuka Komp Subur Indah, Dan Jl Simpang Pengembangan No 37).

Contour plot digunakan untuk memperlihatkan zona-zona yang ingin ditampilkan. Pada **Gambar 4.** dan **Gambar 5.** daerah yang berwarna kuning untuk wilayah yang nilai klornya lebih dari 0,5 mg/L (diatas baku mutu). Daerah yang berwarna ungu untuk wilayah yang nilai klornya kurang dari 0,2 mg/L (dibawah baku mutu) dan daerah warna biru untuk nilai klor dalam baku mutu dengan rentang 0,2 -0,5 mg/L. Perbedaan pada jam 08:00 dan 17:00 dapat terjadi karena pengaruh *Water Age* (usia air).

Usia air dipengaruhi oleh kecepatan aliran dalam pipa dan waktu tinggal air. Waktu tinggal air yang cukup lama dan injeksi klor jalan terus-menerus akan membuat penumpukkan tertama bila pada pipa yang berbelok-belok dan memutar. Sehingga, kemungkinan tertahan pada daerah yang dekat dan daerah yang jauh belum sampai distribusi klornya. Selain itu elevasi pada daerah terjauh itu cukup tinggi yaitu 5 -7 m. dpl.



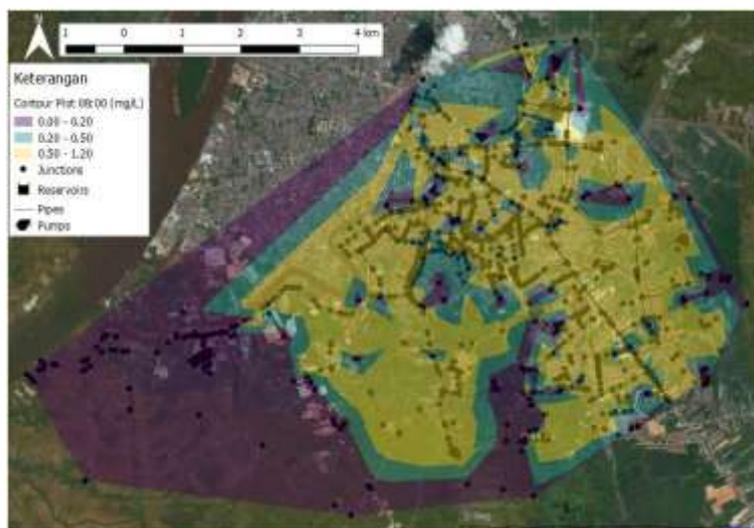
Gambar 4. *Contour plot* sebaran klor pada 08:00



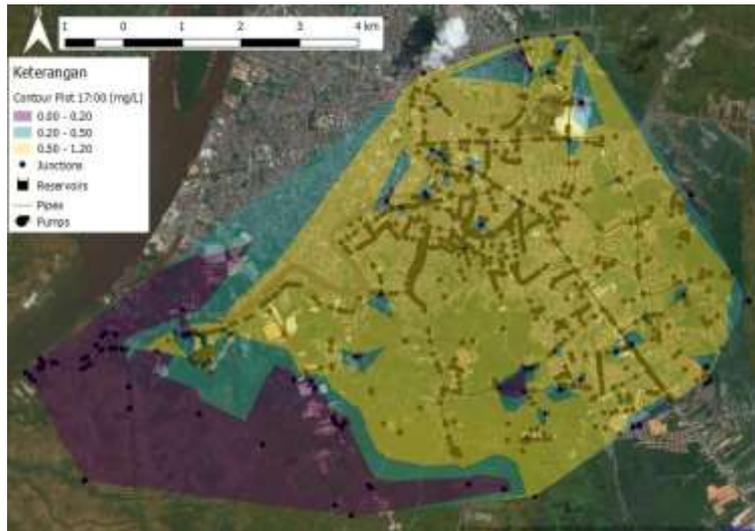
Gambar 5. Contour plot sebaran klor pada 17:00

Hasil dari pola sebaran sisa klor eksisting diketahui banyaknya nilai klor tidak memenuhi baku mutu sesuai Permenkes RI. No 492/Menkes/PER?IV/2010 yaitu sekitar 97,5 % pada jam 08:00 dan 98 % pada jam 17:00. Maka dari itu perlu ada simulasi nilai injeksi klor awal pada reservoir Pramuka dan Booster Gerilya. Namun pada penelitian ini hanya mencoba mengubah nilai injeksi awal klor dan tidak menambah atau merubah letak injeksi klor.

Simulasi pertama diketahui nilai injeksi klor pada reservoir diturunkan menjadi 1 mg/L. Sedangkan pada injeksi Booster Gerilya dimasukkan nilai yang sama pada saat eksisting yaitu 1,2 mg/L. diperoleh seperti pada **Gambar 6.** pada bagian berwarna biru, sebanyak 6,58 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 08:00. Pada **Gambar 7.** pada bagian berwarna biru hanya 1,00 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 17:00. Pada simulasi pertama ini ada peningkatan dari eksisting pada jam 08:00. Tetapi ada pengurangan pada jam 17:00.

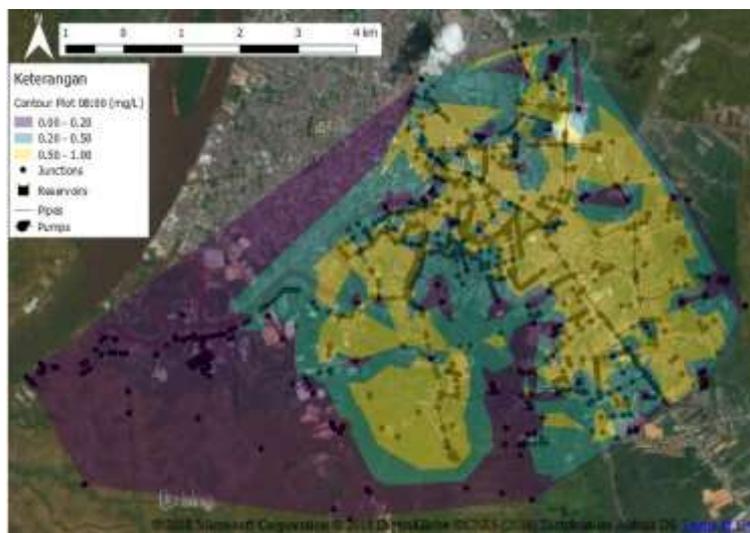


Gambar 6. Contour Plot simulasi 1 pada 08:00



Gambar 7. *Contour Plot* simulasi 1 pada 17:00

Simulasi kedua diketahui nilai injeksi klor pada reservoir dimasukkan sama pada simulasi pertama yaitu 1 mg/L. Sedangkan pada injeksi Booster Gerilya diturunkan dari nilai eksisting yaitu 0,5 mg/L. diperoleh seperti pada **Gambar 8.** pada bagian berwarna biru, sebanyak 18,0 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 08:00. Pada **Gambar 9.** pada bagian berwarna biru hanya 4,83 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 17:00. Pada simulasi kedua ini ada peningkatan lebih besar dari eksisting dan simulasi pertama pada jam 08:00 dan jam 17:00.

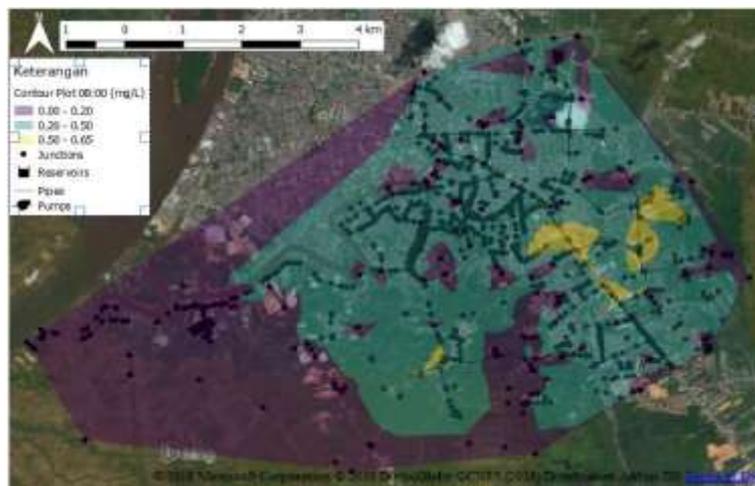


Gambar 8. *Contour Plot* simulasi 2 pada 08:00

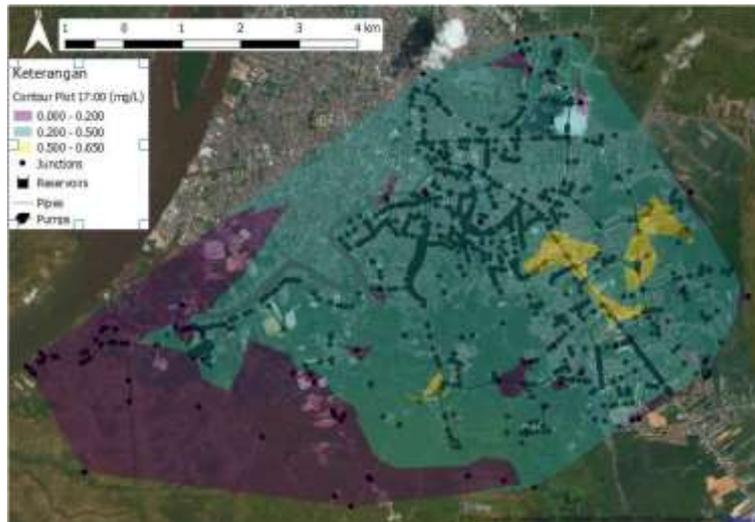


Gambar 9. Contour Plot simulasi 2 pada 17:00

Simulasi ketiga diketahui nilai injeksi klor pada reservoir yang dimasukkan diturunkan menjadi 0,65 mg/L. Sedangkan pada injeksi Booster Gerilya yang dimasukkan seperti simulasi kedua yaitu 0,5 mg/L. diperoleh seperti pada **Gambar 10.** pada bagian berwarna biru, sebanyak 67,5 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 08:00. Pada **Gambar 11.** pada bagian berwarna biru hanya 85,0 % nilai klor yang memenuhi baku mutu pada jam 17:00. Pada simulasi ketiga ini nilai yang memenuhi baku mutu yaitu 0,2 -0,5 mg/L lebih besar persentasenya dibandingkan dengan eksisting, simulasi pertama dan simulasi kedua. Jadi simulasi ketiga yang paling mendekati harapan. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.**



Gambar 10. Contour Plot simulasi 3 pada 08:00



Gambar 11. Contour Plot simulasi 3 pada 17:00

Tabel 2. Simulasi Nilai Injeksi Klor Awal

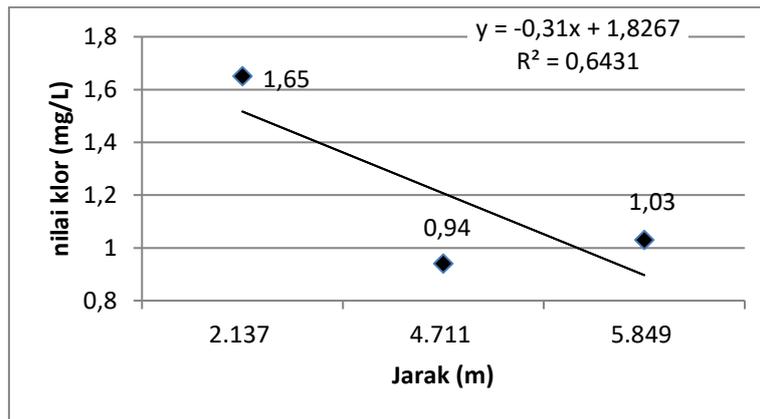
Simulasi	Injeksi pada IPA Pramuka (mg/L)	Injeksi pada Booster Gerilya (mg/L)	Sesuai Baku Mutu (0,2 – 0,5 mg/L)	
			08:00	17:00
Eksisting	1,8	1,2	2,58 %	1,29 %
1	1	1,2	6,56 %	1,07 %
2	1	0,5	18,0 %	4,83 %
3	0,65	0,5	67,5 %	85,0 %

3.3 Pengaruh Jarak Distribusi Air

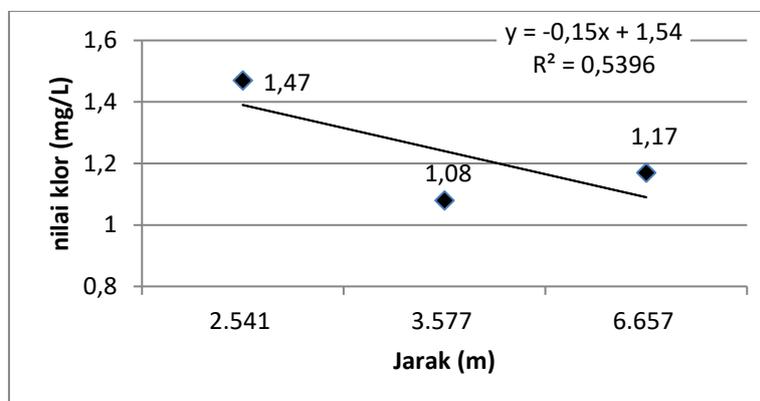
Pada tahap ini akan di analisa pengaruh jarak terhadap nilai sisa klor menggunakan analisa regresi linier. Analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linear antara satu variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah positif atau negatif. Pada analisis ini, X adalah jarak dari reservoir atau booster ke pelanggan (m) dan Y adalah nilai sisa klor dipelanggan (mg/L).

Tabel 3. Data Jarak dan nilai sisa klor pada 08:00 dan 17:00

Node	blok	Jarak (m)	08:00 (mg/L)	17:00 (mg/L)
J51	217	2137	1.65	1.65
J262	222	4711	0.94	1.5
J62	213	5849	1.03	1.46
J944	323	2541	1.47	1.54
J1091	333	3577	1.08	1.44
J108	301	6657	1.17	1.38

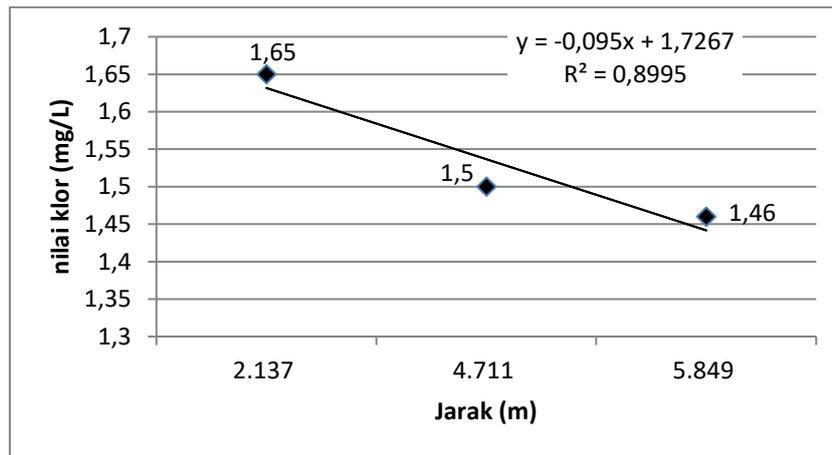


Gambar 11. kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 08:00 daerah Banjarmasin Selatan

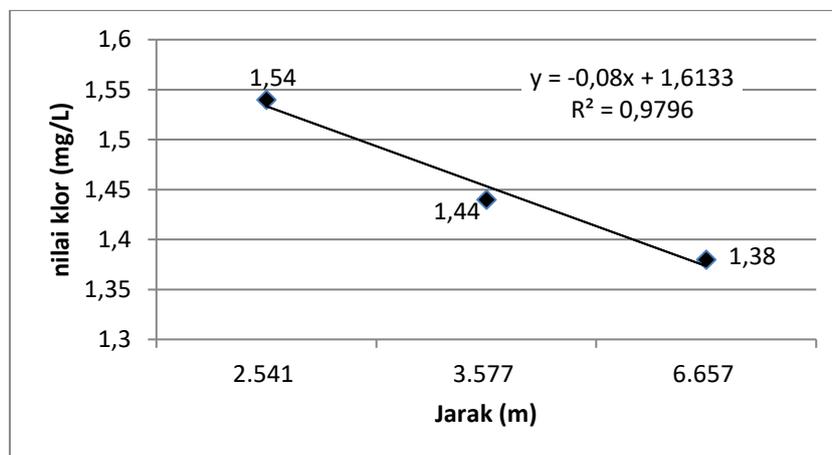


Gambar 12. kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 08:00 daerah Banjarmasin Timur

Dapat dilihat pada **Tabel 3.** terdapat perubahan nilai klor akibat perbedaan jarak tempuh pada jaringan distribusi. Pada kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 08:00 daerah Banjarmasin Selatan seperti **Gambar 11.** didapatkan persamaan $y = -0.31x + 1.8267$ dan nilai regresi linear didapatkan $R^2 = 0.6431$. sedangkan pada 08:00 daerah Banjarmasin Timur seperti **Gambar 12.** didapatkan persamaan $y = -0.15x + 1.54$ dan nilai regresi linier didapatkan $R^2 = 0.5396$. Pengaruh jarak di Banjarmasin Selatan lebih besar (64 %) dibandingkan pada daerah Banjarmasin Timur (53 %). Hal ini dapat terjadi karena di bagian wilayah Banjarmasin Timur banyak pipa dengan sistem loop sehingga jarak tidak terlalu besar pengaruhnya. Sedangkan pada wilayah Banjarmasin selatan hanya banyak bagian pipa yang memanjang dan bercabang sehingga pengaruh jarak lebih besar.



Gambar 13. kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 17:00 daerah Banjarmasin Selatan



Gambar 14. kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 17:00 daerah Banjarmasin Timur

Pada **Gambar 13.** kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 17:00 daerah Banjarmasin Selatan didapatkan persamaan $y = -0,095x + 1,7267$ dan nilai regresi linier didapatkan $R^2 = 0,8995$. Sedangkan **Gambar 14.** kurva hubungan jarak dan nilai klor pada 17:00 daerah Banjarmasin Timur $y = -0,08x + 1,6133$ dan nilai regresi linier didapatkan $R^2 = 0,9796$. Hal ini berarti pengaruh jarak terhadap kehilangan klor lebih besar pada jam 17:00 daripada jam 08:00.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Pada jam 08:00 sebaran sisa klor mencapai 79 % namun hanya 2,58 % yang memenuhi baku mutu. Nilai yang memuhi baku mutu ini terdapat pada pelayanan Banjarmasin Selatan di jalan (Jln Kelayan B Tatah Bangkal Luar, Jln Tatah Desa Belayung Baru, dan Jln Kelayan B Tengah) dan pada pelayanan banjarmasin timur pada jalan (Jl Gatot Subrot X, Jl Pramuka Komp Subur Indah, Dan Jl Simpang Pengembangan No 37).
2. Jarak yang berpengaruh pada pengurangan nilai sisa klor merupakan jarak pipa dan sistem perpipaan. Semakin panjang pipa dan semakin besar perubahan atau belokan yang terjadi pada pipa maka nilai sisa klornya semakin menurun.

4.2 Saran

1. Perlu dilakukan studi lanjutan untuk mensimulasi letak injeksi klor dan pola waktu injeksi agar nilai klor yang diperoleh di jaringan pelayanan IPA pramuka sesuai dengan baku mutu 0,2 -0,5 mg/L.
2. Agar hasil simulasi lebih mendekati lagi, pada penelitian selanjutnya untuk data pipa diameternya sampai pada pipa pelanggan (pipa persil) dan dapat memasukkan aksesoris seperti valve atau PRV pada model jaringan distribusi.
3. Pada injeksi awal klor disarankan 0,65 mg/L untuk Reservoir Pramuka dan 0,5 mg/L untuk Booster Gerilya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, W., Riduan, R., & Firmansyah, M. (2017). Evaluasi sisa klor jaringan distribusi zona air minum prima (zamp) pdam intan banjar menggunakan epanet 2.0.
- Dewi Yani, S., & Roosmini, D. (2008). *Pengaruh Jarak Terhadap Penurunan Sisa Klor Di Jaringan Distribusi Pam Jaya Jakarta Daerah Pelayanan Jakarta Barat*. Bandung : Program Studi Teknik Lingkungan ITB. Repéré à <http://www.academia.edu/1238573/>
- Finansita H, P. (2012). *Pengaruh Jarak Distribusi Air Terhadap Kadar Sisa Klor, Jumlah E.Coli Dan MPN Coliform Pada Jaringan Distribusi Air Pdam Kabupaten Nganjuk*. Surabaya : Universitas Airlangga.
- Fuadi, A. (2012). *Pengaruh Residual Klorin Terhadap Kualitas Mikrobiologi Pada Jaringan Distribusi Air Bersih (Studi Kasus: Jaringan Distribusi Air Bersih IPA CILANDAK)*. Depok : Universitas Indonesia.
- Handayani, P. (2008). Kandungan Klorin Air Olahan Didalam Filter Tank Di Pt . Coca-Cola Bottling Indonesia Unit Medan Program Diplomat Iii Analisis Farmasi Kandungan Klorin Air Olahan Didalam Filter Tank Di Pt . Coca-Cola Bottling Indonesia Unit Medan. *Tugas Akhir*.
- Keung, C. (2015). Re-Evaluating Secondary Disinfectants As Sentinels Of Contamination And Using A Systems. *A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Masters of Applied Science Graduate Department of Civil Engineering University of Toronto*.
- Lee, E. J., & Schwab, K. J. (2005). Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *J Water Health*, 3(2), 109-127. Repéré à http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16075938
- Sofia, E., & Riduan, R. (2017). Evaluasi dan analisis pola sebaran sisa klor bebas pada jaringan distribusi ipa sungai lulut pdam bandarmasih, 3(2), 10-24.
- Sumiyati, Subagiyo, A., & Lusiana, A. (2015). Sanitation and Drinking Water Quality on Drinking Water Station Sanitasi dan Kualitas Air Minum pada Depot Air Minum (DAM) Sumiyati Agus Subagiyo Arum Lusiana Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Semarang Jl . Raya Baturaden Km 12 Purwokerto. *Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Semarang*, 4(3), 832-838.
- Tambunan, R. A. (2014). Peran PDAM Pengelolaan Bahan Air Baku Air Minum Sebagai Perlindungan Kualitas Air Minum Di Kota Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Hukum Pertanahan dan Lingkungan Hidup*.
- Wandrivel, R., Suharti, N., & Lestari, Y. (2012). Drinking Water Microbial Quality Produced by Refill Water Kiosks in Bungus Padang District. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 1(3), 129-133. Repéré à <http://jurnal.fk.unand.ac.id/index.php/jka/article/view/84>
- Wiadnya, I. B. R. (2015). Pengaruh Lama Waktu Penyimpanan Terhadap Kadar Sisa Klor pada Air yang Telah Diklorinasi dengan Kalsium Hypoklorit (Kaporit). *Media Bina Ilmiah*, 9(7), 1-5.
- Zolapara, B., Neha, J., & Jaydeep, P. (2015). Case Study on Designing Water Supply Distribution Network Using Epanet for Zone-I of Village Kherali Engineering. *Indian Journal of Research*, 4(7), 51-54.

Halaman ini sengaja dikosongkan