



ANALISIS KUALITAS AIR UNTUK KONSENTRASI *FLUORIDE* PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM DENGAN FLUORIDASI

<http://jurnal.universitaskebangsaan.ac.id/index.php/ensains>
Email: ensains@universitaskebangsaan.ac.id / ensainsjournal@gmail.com

ENSAINS: Vol. 2 Nomor. 1 Januari 2019

Arif Susanto^{1,2}, Purwanto Purwanto^{1,3}, Agus Hadiyanto^{1,3}

¹ Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang 50241

² Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP, Universitas Kebangsaan, Bandung 40263

³ Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang 50275

E-mail: arifssnt@yahoo.com, p.purwanto@gmail.com, agushadi55@che.undip.ac.id

Abstract: *The requirement of consumed drinking water so that it does not create disturbance to public health is that it needs a quality monitoring. Water fluoridation in Tembagapura City aims to reach its concentration level toward certain safe level, and it can provide maximum benefits for dental health. Analysis and simulation methods using EPAnet software. The results of hydrolic simulation and water quality for fluoride concentration of each node and link in the drinking water distribution network system have changed in every time change following the drinking water distribution segment. From hydraulic simulations, especially for head and flow at separate points, it consists of simultaneous solution in flow equivalence for every junction and headloss relationship in every link of network as a result of hydraulic balancing. New segment will be made at the end of each link that receives inflow from a node if the quality of the new node is different from the link in the last segment. Every pipe in network contains singular segment where the water quality is in line with the preliminary quality stated in the preliminary node. With the availability of hydraulic model and water quality for fluoride concentration, a further research can be conducted for chlorine decay, growth of by product i.e. Trihalomethans (THMs) as well as water age simultaneously in drinking water supply systems in Tembagapura City.*

Keyword: EPAnet, distribution network, fluoride concentration.

Abstrak: Persyaratan kualitas air minum yang dikonsumsi masyarakat agar tidak menimbulkan gangguan kesehatan, maka penyelenggara air minum perlu melakukan pemantauan kualitasnya. Fluoridasi air di Kota Tembagapura ditujukan untuk mencapai tingkat konsentrasi *fluoride* pada level tertentu yang aman dan dapat memberikan manfaat maksimal bagi kesehatan gigi. Metode analisis dan simulasi menggunakan perangkat lunak EPAnet. Hasil simulasi hidrolis dan kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* pada setiap *node* dan *link* pada sistem jaringan distribusi air minum berubah pada setiap perubahan waktu mengikuti segmen distribusi air minum tersebut. Dari simulasi hidrolis, khusus untuk *head* dan aliran pada titik yang terpisah meliputi penyelesaian secara simultan dalam persamaan aliran untuk tiap sambungan (*junction*), dan hubungan *headloss* pada setiap *link* pada jaringan sebagai akibat dari *hydrolic balancing*. Segmen baru terbentuk pada akhir dari setiap *link* yang menerima *inflow* dari sebuah *node*, jika kualitas *node* baru berbeda dari *link* pada segmen terakhir. Setiap pipa dalam jaringan mengandung segmen tunggal, di mana kualitas air sebanding dengan kualitas awal yang ditetapkan di *node* awal. Dengan tersedianya model hidrolis dan kualitas air untuk konsentrasi *fluoride*, maka dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk peluruhan klorin, pertumbuhan *by product* yaitu *trihalomethans* (THMs) serta usia air secara simultan pada sistem penyediaan air minum di Kota Tembagapura.

Kata Kunci: EPAnet, jaringan distribusi, konsentrasi *fluoride*.

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan yang diperlukan untuk memenuhi keperluan sehari-hari, seperti keperluan industri, sanitasi kota, pertanian dan lain sebagainya (Gleick, 1996). Bagi manusia, kebutuhan akan air sangatlah penting karena berfungsi sebagai zat pembentuk tubuh manusia. Air merupakan sarana utama untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat (Pucher & Dijkstra, 2003) Sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air, yaitu agar air minum yang dikonsumsi masyarakat tidak menimbulkan gangguan kesehatan maka penyelenggara air minum perlu melakukan pengawasan kualitasnya. Juga untuk memenuhi peraturan perundangan lain, khususnya Peraturan Pemerintah Nomor 16 tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. Serta untuk memenuhi Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, dengan maksud dan tujuan diantaranya yaitu mewujudkan pengelolaan dan pelayanan air minum yang berkualitas, harga terjangkau, dapat mencapai kepentingan yang seimbang antara konsumen dan penyedia jasa pelayanan, mampu mencapai peningkatan efisiensi dan cakupan pelayanan air minum, serta mendorong upaya gerakan penghematan pemakaian air. Tujuan fluoridasi air yaitu untuk mencapai tingkat konsentrasi *fluoride* pada level tertentu yang aman, dan dapat memberikan manfaat maksimal bagi kesehatan gigi. *Fluoride* dalam air minum diketahui memiliki efek baik

menguntungkan maupun merugikan bagi kesehatan (Ayoob & Gupta, 2006). Proses fluoridasi air secara terus menerus akan menyesuaikan jumlah *fluoride* di dalam air untuk tetap sama dengan tingkat yang direkomendasikan. Fluoridasi air aman dan cara terbaik dalam memperbaiki kesehatan gigi pada banyak orang. Air yang mengandung *fluoride* dapat mencegah gigi berlubang karena unsur *fluoride* pada gigi akan membuat struktur gigi lebih kuat dan tahan terhadap asam (Fawell, et al 2006). Panduan Kualitas Air Minum dari *World Health Organization* tahun 2004 merekomendasikan pengelolaan batasan untuk *fluoride* dalam air minum untuk kisaran variasi dalam rata-rata tahunan dari temperatur udara harian maksimum yaitu berkisar 0.6-0.8 mg/Liter untuk temperatur 26.3-32.6 °C sampai 0.9-1.7 mg/Liter untuk temperatur 10-12 °C.

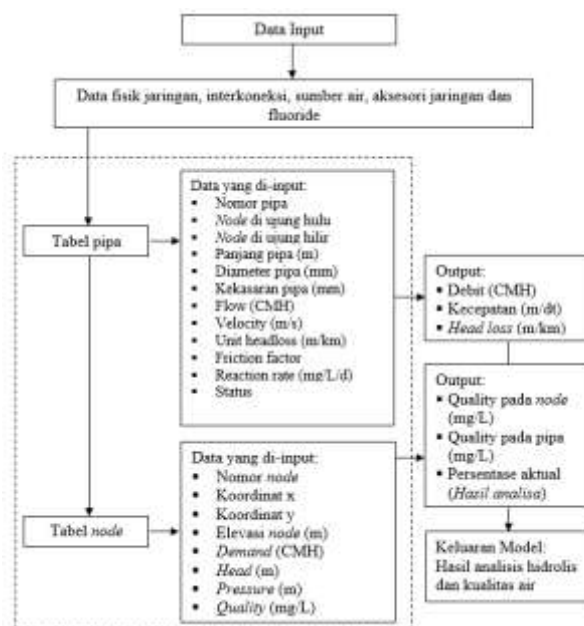
Infrastruktur berupa sistem jaringan pipa yang ada di Kota Tembagapura belum direncanakan untuk menghadapi berbagai faktor yang mengait kepada kualitas air, selama dalam pipa terutama terhadap kandungan *fluoride*. Kualitas air terkait dengan umur air dan kandungan *fluoride* yang juga dapat berfungsi sebagai penjejukan dalam menentukan kualitas air belum mendapat perhatian, baik saat perencanaan maupun saat operasionalnya. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui analisis hidrolis dan model kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* pada sistem jaringan distribusi air minum. Serta untuk membandingkan antara model kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* dengan hasil pengukuran lapangan pada sistem jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sistem jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua. Waktu pelaksanaan penelitian pada bulan Januari sampai Agustus 2011. Tahapan penelitian seperti tertera pada gambar 1. Di dalam penelitian ini, jenis data yang dikumpulkan adalah data primer dan data sekunder. Adapun observasi dan survei dilakukan untuk pengukuran data aktual di lapangan. Data primer merupakan data yang didapat langsung dari lapangan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran untuk konsentrasi *fluoride* di *node* pada sistem jaringan distribusi air.

Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui data yang telah diteliti dan dikumpulkan dari pihak lain yang berkaitan dengan permasalahan penelitian ini, yaitu kadar *fluoride* alami dalam air baku dan suhu rerata maksimal tahunan yang berada di Kota Tembagapura. Data sekunder pendukung lainnya seperti data pengadaan *sodium silicofluoride* (Na_2SiF_6), data rerata produksi air minum harian, data *komponen fisik* maupun *komponen non fisik* jaringan distribusi air minum. Komponen fisik jaringan distribusi air minum terdiri atas *junction*, reservoir, tanki, pipa dan katup (*valve*). Sedangkan untuk komponen non-fisik jaringan distribusi air minum terdiri atas *time pattern*. Selain itu, observasi dan survei dilakukan untuk mengetahui pelaksanaan sistem apakah sudah berjalan dengan baik. Pelaksanaan proses penyelesaian dilakukan dengan pengukuran aktual untuk konsentrasi *fluoride* di lapangan, untuk kemudian dicatat dan dibandingkan dengan hasil simulasi model.

Teknik pemodelan pada penelitian ini urutannya adalah membuat gambar jaringan yang akan dimodelkan, kemudian memberikan penomoran *node-node* dan pipanya. Tahapan selanjutnya adalah menentukan arah aliran secara visual di dalam jaringan, dan mengisi properti data masukan model jaringannya sesuai tabel input. Tahap sebelum simulasi adalah memeriksa ulang kemungkinan adanya *node* atau pipa yang belum masuk kedalam model. Metode analisis yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu metode analisis hidrolis dan kualitas air, yang merupakan suatu model yang akan memberikan konfigurasi jejak *fluoride* pada jaringan pipa *existing* yang telah diketahui dari *asbuilt drawing* dengan hasil survei lapangan yang dimasukkan dalam analisis hidrolis dengan program EPANet.

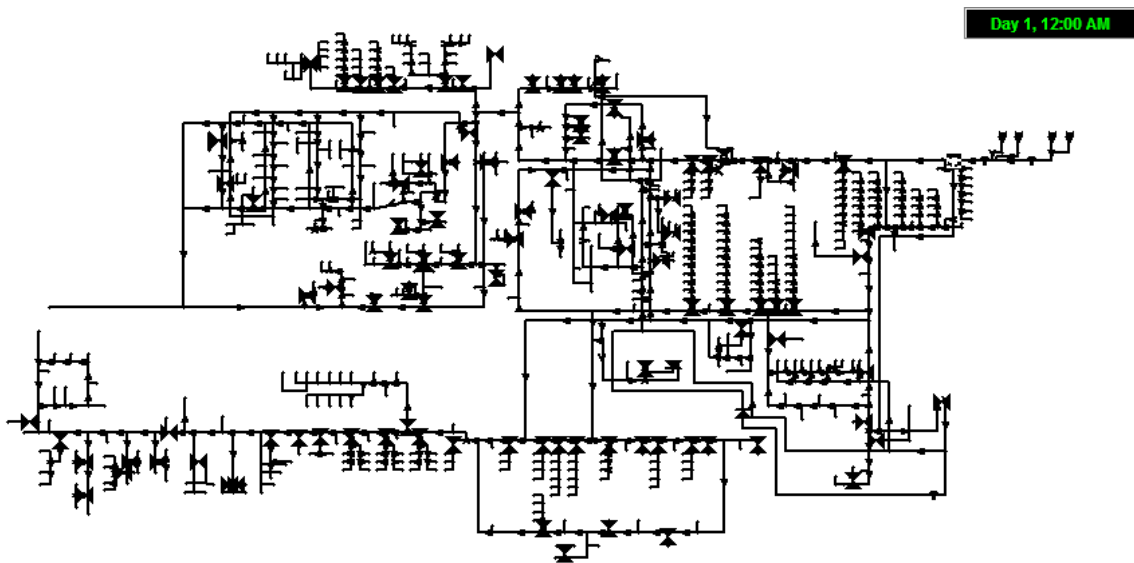


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Metode ini mengikuti perjalanan segmen air dalam jaringan pipa. Dikenal sebagai metode *Lagrangian* dengan menggunakan perangkat lunak EPAnet. Dengan kata lain posisi segmen berubah sesuai dengan perubahan posisi air yang diamati. Pada metode ini, jumlah segmen tidak terikat pada langkah waktu sedang panjang segmen di tengah tidak langsung berhubungan dengan *node*, adalah tetap sepanjang simulasi. Panjang segmen yang langsung berhubungan dengan *node* berubah tergantung dari gerakan segmen lainnya (Rossman, 2000).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sumber penyediaan air untuk penduduk di Kota Tembagapura berasal dari beberapa lokasi sumber air permukaan (*reservoir*). Reservoir tersebut berupa *dam* yang dialirkan melalui perpipaan menuju instalasi pengolahan air minum (IPAM). Pada IPAM hanya menggunakan beberapa tahapan pengolahan saja, yaitu tahapan disinfeksi dan fluoridasi. Fluoridasi air ini merupakan pembubuhan *fluoride* yang disengaja untuk menyesuaikan kadar sisa alami *fluoride*, sesuai garis pedoman ilmiah untuk meningkatkan kesehatan masyarakat melalui pencegahan kerusakan gigi (Reeves,1991). *Fluoride* berada dalam jumlah kecil, tetapi bermacam-macam secara luas pada tanah, persediaan air, tanaman serta binatang, dan pada unsur pokok semua makanan.



Gambar 2. Jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura

Fluoridasi adalah suatu proses pemasukan senyawa-senyawa *fluoride* kedalam air (minum). Untuk ini biasanya digunakan asam fluorosilikat H_2SiF_6 , suatu asam kuat dengan sifat-sifat pemusnah hamanya yang ampuh dari silikon tetrafluorida dan HF: $SiF_4 + 2HF \rightarrow H_2SiF_6$. Penambahan *fluoride* tersebut, meskipun konsentrasinya hanya beberapa *part per million* (ppm) saja, sudah cukup mengurangi atau mencegah pelapukan atau pembusukan gigi, terutama pada anak-anak. Juga memperkuat enamel, yang mengandung fluorida yang berfungsi untuk melindungi gigi. *Hydrofluosilicic acid* dapat dirubah menjadi berbagai garam, dan diantaranya *sodium silicofluoride* (Na_2SiF_6) yang sangat luas digunakan untuk bahan kimia dalam fluoridasi air. *Sodium silicofluoride* berwarna putih, tidak berbau, berbentuk bubuk kristal. Dengan berat molekul 188.05 dan gravitasi spesifik 2.679. Sekitar 14 ponds *sodium silicofluoride* akan menambahkan 1 ppm *fluoride* kedalam 1 juta gallon air. *Sodium silicofluoride* dijual dalam dua bentuk yaitu regular dan halus. Densitas dari *sodium silicofluoride* berkisar antara 65 sampai 95 pond per kaki kubik (lbs/cf). Rerata densitas berkisar antara 75 lbs/cf (Newbrun,1989)

Tabel 1. Reservoir pada Sistem Jaringan Distribusi Air Minum Kota Tembagapura

Node ID	Elevasi (m)	Base Demand (CMH)	Initial Quality (mg/L)
Reservoir DAM-1	10	#N/A	0
Reservoir DAM-2	10.1	#N/A	0
Reservoir DAM-3	50	#N/A	0
Reservoir DAM-5	50	#N/A	0

Pada penelitian terdahulu sudah pernah dilakukan uji coba fluoridasi air minum, berlangsung selama lima tahun dari tahun 1997 sampai dengan 2002 di Kodya Banjarmasin. Sebelum uji coba dilaksanakan telah dilakukan *baseline* data lebih dahulu, dan didapatkan hasil prevalensi karies pada anak 12 tahun di Kodya Banjarmasin sebesar 91,26%, DMF-T sama dengan 3,91, sedangkan kadar fluor dalam air minum dari berbagai sumber air minum, seperti PDAM, sungai, sumur penduduk tidak terdeteksi. Monitoring dan evaluasi kadar *fluoride* dalam

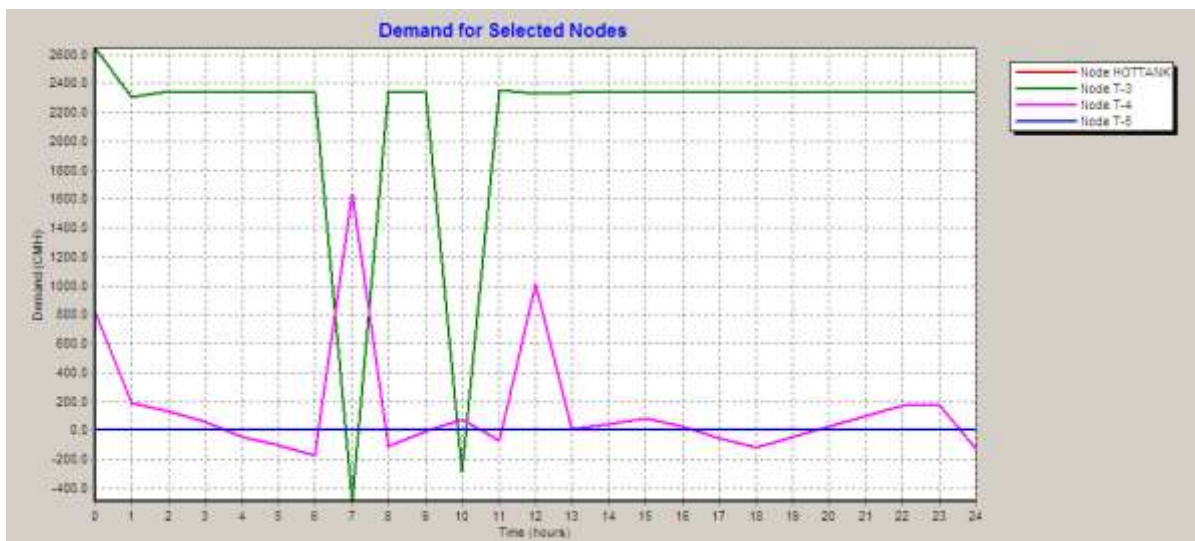
uji coba PDAM Kodya Banjarmasin dilakukan dengan cara menentukan 6 wilayah dan setiap wilayah diambil 10 titik dengan pengambilan 6 kali, jam 14.00, 18.00 dan 10.00 WITA, kemudian diperiksa dengan alat-alat dan cara yang sama. Evaluasi seperti ini dilakukan oleh peneliti pusat sebanyak 2 kali dalam tahun 1999/2000. Hasil monitoring dan evaluasi yang telah dilakukan setelah fluoridasi air minum pada tahun kedua, hasil evaluasi I tahun kedua adalah 0.00. Kadar *fluoride* 0.00 pada evaluasi pertama ini disebabkan adanya kendala antara lain kesulitan dalam membubuhkan potassium *fluoride* dan pengadukan tetapi pada evaluasi II terlihat sudah ada perbaikan dan berakhir pada tahun 2002 (Sintawati, 2003).

Sistem jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura digambarkan sebagai kumpulan garis yang menghubungkan *node-node* seperti yang digambarkan pada gambar 2. Garis tersebut menggambarkan sebuah *junction*, *reservoir*, tanki, pipa dan katup kontrol (*valve*). Komponen fisik jumlah *junction* pada penelitian ini yang terdiri atas 1.164 sambungan. *Reservoir* pada penelitian ini terdiri atas 4 reservoir. Tanki diberikan *node* dengan data kapasitas, dimana volume air yang tersimpan dapat bervariasi berdasarkan waktu selama simulasi berlangsung dimana elevasi dasar adalah nol dengan bentuk tanki silinder serta kualitas awal yang ditetapkan yaitu untuk nilai kualitas dari *fluoride* 1 mg/L.

Tabel 2. Tanki pada Sistem Jaringan Distribusi Air Minum Kota Tembagapura

Node ID	Elevasi (m)	Base Demand (CMH)	Initial Quality (mg/L)
Tank HOTTANK	-65	#N/A	0
Tank T-5	-95	#N/A	0
Tank T-4	0	#N/A	0
Tank T-3	0	#N/A	1

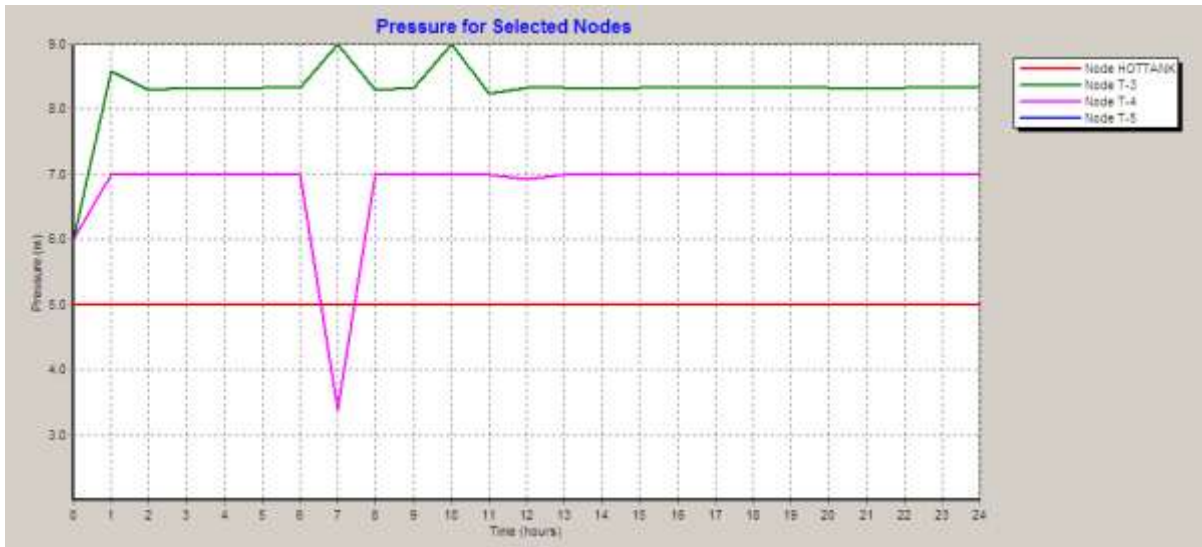
Pada penelitian ini, simulasi hidrolis dan performansi jaringan terdiri atas keseimbangan jaringan, arah aliran, dan *head* yang terjadi, dengan menggunakan perangkat lunak yaitu EPAnet. Perangkat lunak ini memberikan informasi kepada pengguna mengenai simulasi hidrolis dan perilaku kualitas air di dalam sistem jaringan pemipaan bertekanan dalam rentang waktu tertentu. Sistem jaringan pemipaan itu sendiri merupakan sebuah sistem yang terdiri dari kombinasi antara pipa, *node*, pompa, *valve* dan tanki dan *reservoir*, yang saling terhubung satu sama lain dalam satu kesatuan. Serta mampu menelusuri aliran air di dalam pipa, tekanan di tiap *node*, tinggi muka air di dalam tanki (*reservoir*) dan konsentrasi bahan kimia selama rentang simulasi tersebut. Usia air (*water age*) dan pelacakan sumber dapat juga disimulasikan, termasuk mewujudkan pemahaman tentang pergerakan dan nasib kandungan air minum dalam jaringan distribusi. Selain itu juga dapat dipergunakan untuk berbagai aplikasi jaringan distribusi. Serta menyediakan suatu lingkungan yang terintegrasi untuk melakukan pengeditan terhadap input data, *running hydraulic* dan simulasi kualitas air. Hasilnya kemudian ditampilkan dalam berbagai format, seperti jaringan pemipaan dan *node* dengan kode warna, tabel, grafik terhadap waktu, dan plot kontur sesuai dengan kebutuhan analisis pengguna (Rossman, 2000).



Gambar 3. Demand untuk setiap tanki sesuai perubahan waktu

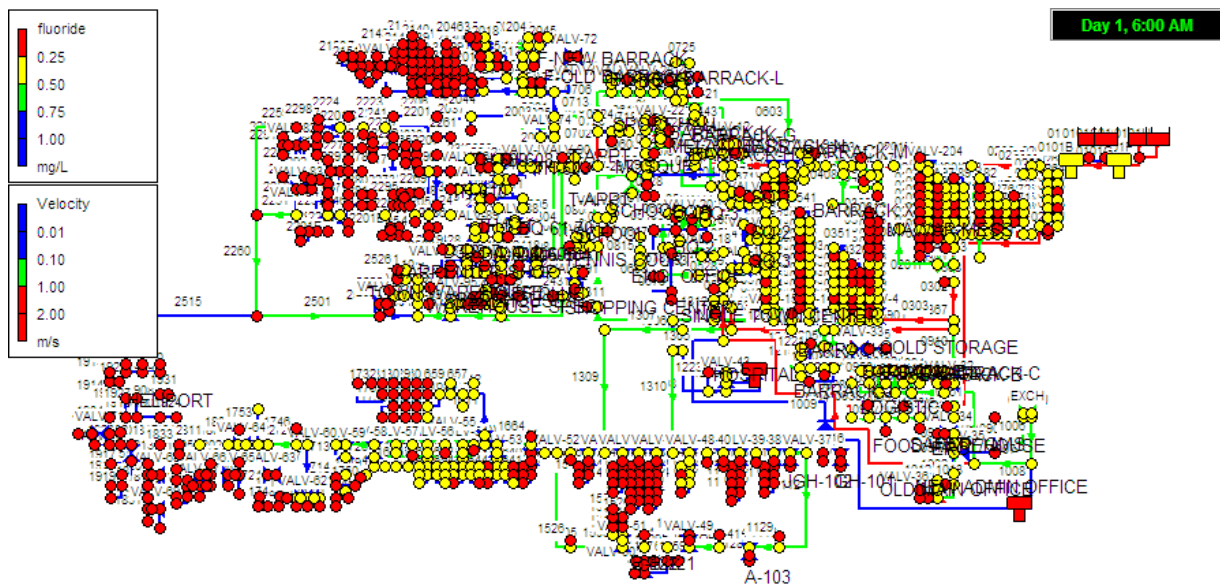
Dalam penelitian ini jenis aliran yang dipergunakan yaitu aliran *steady* dan seragam, dengan metode pendistribusian air mempergunakan sistem gravitasi. Komponen fisik terdiri atas *junction*, *reservoir*, tanki, pipa dan *valve*. *Junction* merupakan titik pada jaringan dimana garis-garis bertemu dan air memasuki atau meninggalkan jaringan. Input dasar pada penelitian ini yaitu elevasi dengan satuan meter (m), kebutuhan air (*base demand*) dengan satuan CMH (*cubic meter hour*) dan kualitas air awal untuk konsentrasi *fluoride* (*initial quality*) dengan satuan mg/L. Hasil komputasi untuk *junction* pada seluruh periode waktu simulasi yaitu kualitas

air. Jumlah *junction* pada jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura terdiri atas 1.164 sambungan seperti yang digambarkan pada gambar 2. Reservoir berupa *dam* air yang berjumlah 4 (empat) dan digambarkan sebagai sumber eksternal yang terus menerus mengalir ke jaringan yang dijelaskan pada tabel 1.



Gambar 4. Pressure untuk setiap tanki sesuai perubahan waktu

Tanki diberikan *node* dengan data kapasitas, dimana input dasar terdiri atas elevasi (meter), diameter tanki (meter), level air (maksimum dan minimum) dan kualitas air pada *initial level* (mg/L). Volume air yang tersimpan dapat bervariasi berdasarkan waktu selama simulasi berlangsung, dimana elevasi dasar adalah nol dengan bentuk tanki silinder serta kualitas awal yang ditetapkan yaitu untuk nilai kualitas dari *fluoride* 1 mg/L. Data dari tanki untuk sistem jaringan distribusi air minum Kota Tembagapura dijelaskan pada tabel 2. *Demand* pada setiap tanki bervariasi setiap waktu yang dapat dilihat pada gambar 3. Selain *demand*, tekanan (*pressure*) pun diperlukan oleh setiap tanki sesuai perubahan waktu, agar air dapat masuk kedalam sistem jaringan distribusi dan dapat memenuhi *base demand* untuk setiap node pada jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.

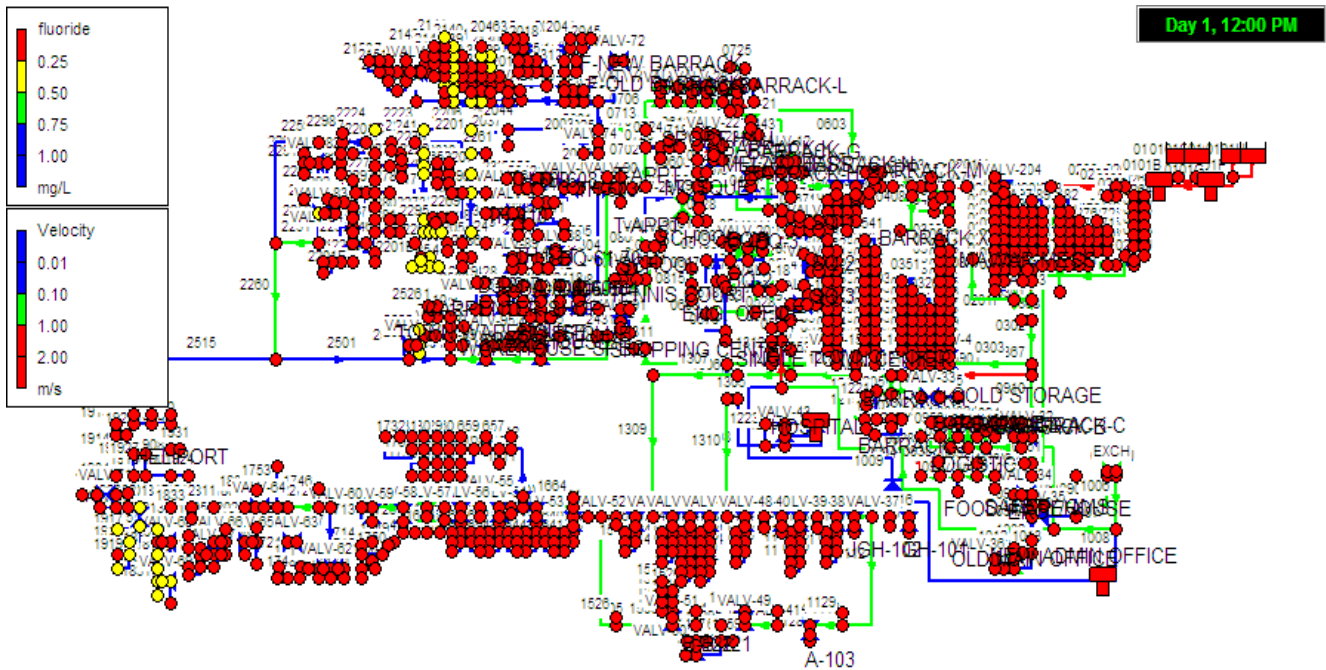


Gambar 5. Hasil simulasi hidrolis dan konsentrasi *fluoride* pada Jam ke-6

Input dasar untuk pipa terdiri atas data *node* awal dan akhir, panjang pipa (meter), diameter pipa (milimeter), koefisien kekasaran pipa (dengan menggunakan koefisien *Darcy-Weisbach*) dan status awal yaitu terbuka (open). Untuk input kualitas air mengacu kepada model *no-reaction* sehingga tidak terdapat input koefisien reaksi dinding maupun reaksi curah. Serta output untuk pipa terdiri atas laju aliran (*flow*) dalam satuan CMH (*cubic meter hour*), kecepatan aliran dalam satuan m/s, *headloss* (m/km), faktor friksi dengan formula *Darcy-Weisbach*.

Dan untuk input dasar *valve* terdiri atas *node* awal dan akhir, diameter, tipe *valve*, pengaturan dan status dalam kondisi aktif.

Pipa pada sistem jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura ini berjumlah 1.094, dimana semua pipa tersebut penuh berisi air setiap waktu, serta status pipa selalu dalam keadaan terbuka (*open*). Hasil simulasi kualitas air khususnya untuk konsentrasi *fluoride* (mg/L) terhadap *velocity* (m/s). Gambar 5 merupakan hasil simulasi pada jam ke-6, dan gambar 6 pada jam ke-12. Kehilangan tekanan hidrolis dikarenakan pengaliran pipa dan adanya faktor gesekan pipa, yang dihitung menggunakan formula *Darcy-Weisbach*. Adapun *valve* pada sistem jaringan distribusi air minum Kota Tembagapura jumlahnya yaitu 100 dengan perhitungan output yang dihitung yaitu laju aliran, kecepatan dan *headloss*. Jenis atau tipe *Pressure Breaker Valve* (PBV) digunakan hanya untuk *valve* EXCH (*exchange*) saja, dimana *valve* jenis ini memaksa tekanan yang spesifik yang hilang agar muncul melalui *valve*. Aliran melalui *valve* dapat dari arah sebaliknya. Sedangkan 99 *valve* lainnya menggunakan jenis atau tipe *Pressure Reducer Valve* (PRV), dimana PRV membatasi tekanan pada titik pada jaringan pipa. Semua *valve* diposisikan pada status aktif.



Gambar 6. Hasil simulasi hidrolis dan konsentrasi *fluoride* pada Jam ke-12

Pada komponen non-fisik terdiri atas kurva pola waktu (*time pattern*) saja, dengan faktor pengkali (*multiplier*), dan dapat diaplikasikan sebagai kuantitas yang bervariasi terhadap waktu. Kebutuhan di tiap *node*, *head reservoir*, jadwal pompa, dan input sumber kualitas air dapat terikat pada pola waktu. Interval waktu yang digunakan dalam seluruh pola yaitu nilai yang tetap yang diatur pada *time option* dalam setiap jam. Dengan interval tersebut, kuantitas berlangsung secara konstan, sebanding dengan hasil dari nilai nominal dan faktor pengali dalam periode waktu. Meskipun pola waktu harus dilakukan dalam interval waktu yang sama, setiap periode dapat berupa angka yang berbeda. Ketika periode simulasi melebihi dari jumlah periode dalam pola, maka pola akan kembali ke periode awal lagi. Kurva pompa tidak disediakan karena tidak menggunakan pompa dan hanya menggunakan sistem gravitasi saja dalam pendistribusiannya.

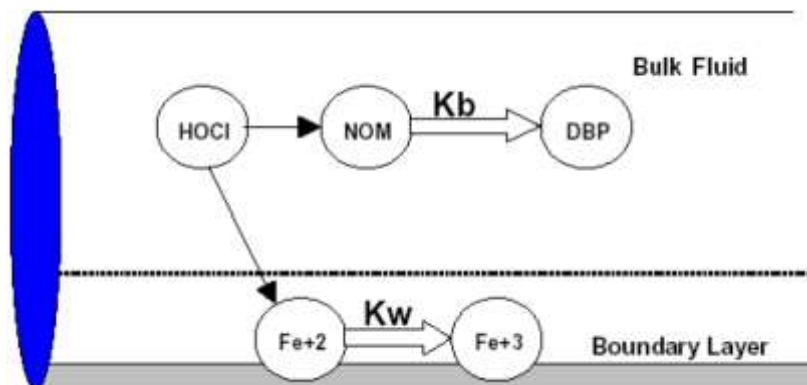
Faktor global diaplikasikan untuk semua *demand* untuk membuat sistem konsumsi keseluruhan yang bervariasi naik dan turun pada besaran yang pasti. Misal 2.0 untuk kebutuhan rangkap, 0.5 untuk setengahnya, dan 1.0 pada posisinya. Adapun pola waktu tersebut sesuai *demand* pada masing-masing interval waktu disajikan pada tabel 3. Model tipe kurva *time pattern* yang didapat pada penelitian sesuai dengan *multiplier* pada setiap jamnya. Metode pendekatan waktu yang dipergunakan yaitu *Lagrangian* (Rossman, 2000). Digunakan untuk mengetahui nasib dari bagian air selama bergerak sepanjang pipa, dan bercampur bersama pada *junction* di antara langkah waktu.

Langkah waktu dari kualitas air secara tipikal lebih pendek dari langkah waktu perhitungan hidrolis, misalnya menit dibandingkan dengan jam, untuk mengakomodasi waktu yang pendek dari perjalanan air yang dapat muncul dalam pipa. Dan selama perkembangan waktu tersebut, ukuran dari segmen di hulu dalam *link* bertambah dengan sejumlah air yang masuk dalam *link*. Untuk setiap langkah waktu kualitas air, kandungan dari setiap segmen bergantung pada reaksi, akumulasi kandungan tetap bergantung total massa, volume aliran yang memasuki setiap *node*, dan posisi dari segmen yang diperbaharui. Pelacakan konsentrasi *fluoride* pada sistem jaringan distribusi mengikuti model reaksi kinetis *no-reaction*, dimana $C_L = 0$ dan $K_b = 1$, yang berarti tidak dipengaruhi oleh reaksi curah (*bulk reaction*), maupun reaksi dinding (*wall reaction*) (Yang, Goodrich, & Clark, 2008).

Tabel 3. Kuantitas Air sebagai Multiplier terhadap Interval Waktu

Pola Waktu terhadap Faktor Pengali untuk <i>Pattern 1 - Housing</i>												
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplier	1	0.2	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.1	1	0.7	0.6	0.8
Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplier	0.7	0.6	0.5	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2
Pola Waktu terhadap Faktor Pengali untuk <i>Pattern 2 - Mosque</i>												
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplier	1	0	0	0.6	0.8	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	1
Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplier	1	0.6	0.8	0.6	0.4	0.8	1	0.4	0.3	0.2	0	0
Pola Waktu terhadap Faktor Pengali untuk <i>Pattern 3 - Church</i>												
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplier	1	0	0	0	0.2	0.4	0.6	1	0.8	0.6	0.2	0.6
Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplier	0.8	0.6	0.4	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0.4	0	0	0
Pola Waktu terhadap Faktor Pengali untuk <i>Pattern 4 - School</i>												
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplier	1	0	0	0	0	0.4	0.6	0.8	0.8	0.6	0.2	0.8
Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplier	1	1	0.8	0.8	0.6	0.6	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
Pola Waktu terhadap Faktor Pengali untuk <i>Pattern 5 - Shop</i>												
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplier	1	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8
Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplier	1	1	0.8	0.8	0.6	0.6	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0

EPANet pun dapat melacak perkembangan atau peluruhan substansi dalam reaksi yang berjalan melalui sistem distribusi. Untuk melakukan itu diperlukan laju dari reaksi substansi dan bagaimana reaksi itu bergantung pada konsentrasi substansi. Reaksi dapat muncul diantara aliran *bulk* dan material sepanjang dinding pipa⁽⁹⁾ seperti yang digambarkan pada gambar 7.



Gambar 7. Zona Reaksi dalam Pipa

Hasil simulasi hidrolisis dan kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* pada setiap *node* dan *link* pada sistem jaringan distribusi air minum Kota Tembagapura dapat dinyatakan berubah pada setiap perubahan waktu, mengikuti segmen distribusi air minum. Berdasarkan hasil simulasi kandungan dari setiap segmen jaringan distribusi air minum tersebut, kualitas air dapat berubah bergantung pada setiap *node* serta posisi dari segmen yang diperbaharui. Telah diketahui bahwa penyelesaian untuk *head* dan aliran pada titik yang terpisah meliputi penyelesaian secara simultan dalam persamaan aliran untuk tiap *junction*, dan hubungan *headloss* pada setiap *link* pada jaringan sebagai akibat adanya *hydraulic balancing*.

Pelacakan konsentrasi dan ukuran dari *series* terhadap segmen *non-overlapping* dari air yang mengisi setiap *link* dalam jaringan. Selama perkembangan waktu, ukuran dari segmen di hulu dalam *link* bertambah dengan sejumlah air yang masuk dalam *link*. Konsentrasi *fluoride* pada tanki penyimpanan yang diperbaharui bergantung pada jenis pengadukan. Pengadukan pada tanki tersebut menggunakan pengadukan model *mixing*. 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. Setiap pipa dalam jaringan mengandung segmen tunggal dimana kualitas air sebanding dengan kualitas awal yang ditetapkan pada *node* awal.

Kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* pada sistem jaringan distribusi air minum Kota Tembagapura sangat dipengaruhi oleh status hidrolis baik oleh komponen fisik maupun komponen non fisik. Komponen fisik yang berpengaruh tersebut yaitu *junction*, *reservoir* pada saat tertutup atau pada saat kosong, tanki pada saat dikosongkan atau dipenuhi, pipa pada saat terbuka atau tertutup, dan status *valve* apakah tertutup maupun aktif pada setiap periode waktu. Demikian pula komponen non fisik berpengaruh terhadap kualitas air dimana *polawaktu* untuk *demand* per interval waktu yaitu per jam berpengaruh karena terhubung pada perubahan *flow*, *velocity*, unit *headloss*, faktor friksi dan *reaction rate* pada masing-masing komponen fisik pada periode waktu tersebut.

KESIMPULAN

Hasil simulasi hidrolis dan kualitas air untuk konsentrasi *fluoride* pada setiap *node* dan *link* pada sistem jaringan distribusi air minum Kota Tembagapura berubah pada setiap perubahan waktu, mengikuti segmen distribusi air minum. Konsentrasi *fluoride* telah diketahui bahwa penyelesaian untuk *head* dan aliran pada titik yang terpisah meliputi penyelesaian secara simultan dalam persamaan aliran untuk tiap *junction* dan hubungan *headloss* pada setiap *link* pada jaringan sebagai *hydraulic balancing*. 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. Setiap pipa dalam jaringan mengandung segmen tunggal, dimana kualitas air sebanding dengan kualitas awal yang ditetapkan pada *node* awal. Demikian juga konsentrasi *fluoride* sangat dipengaruhi pula oleh status hidrolis. Penyelenggara dalam penyediaan air minum perlu selalu melakukan pemantauan di lapangan agar konsentrasi *fluoride* yang diharapkan dapat meningkatkan derajat kesehatan masyarakat dapat tercapai dengan efektif dan efisien, serta tidak melebihi batas maksimum sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku. Pemutakhiran data sangat diperlukan apabila terdapat perubahan pada komponen fisik maupun komponen non-fisik sistem jaringan distribusi air minum di Kota Tembagapura.

DAFTAR PUSTAKA

- Gleick, P. H. (1996). Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs, *Water International*, 21:2, 83-92, DOI: 10.1080/02508069608686494
- Pucher, J. & Dijkstra, L. (2003). Promoting Safe Walking and Cycling to Improve Public Health: Lessons from the Netherlands and Germany, *American Journal of Public Health*, 93:9, 1509-1516. DOI: 10.2105/AJPH.93.9.1509
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. 2010. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. 2005. Jakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. 2007. Jakarta.
- Ayoob, S. & Gupta, A. K. (2006). *Fluoride* in Drinking Water: A Review on the Status and Stress Effects, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36:6, 433-487, DOI: 10.1080/10643380600678112
- Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., Fewtrell, L., Magara Y. (2006). *Fluoride* in Drinking-water. World Health Organization (WHO).
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Ed. Geneva.
- Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 User Manual*. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH. United Nation Environmental Protection Agency.
- Reeves, T. G. (1991). *Water Fluoridation A Manual for Engineers and Technicians*. U.S. Department of Health and Human Services: Public Health Services. Center For Disease Control. Atlanta, Georgia.
- Newbrun, E. (1989). Effectiveness of Water Fluoridation, *Journal of Public Health Dentistry*, 49:5, 279-289, <https://doi.org/10.1111/j.1752-7325.1989.tb02086.x>
- Sintawati, F. X. (2003). *Studi Evaluasi Akhir Fluoridasi Air Minum di Kodya Banjarmasin*. Badan Penelitian Kesehatan.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM Designation: D 1179-04. Standard Methods for Fluoride Ion in Water¹*. Annual Book of ASTM Standards 2006. Section 11.01 Water (I) Water and Environmental Technology. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM Designation: D 3370-95a. Sampling Water from Closed Conduits¹*. Annual Book of ASTM Standards 2006. Section 11.01 Water (I) Water and Environmental Technology. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM Designation: D 1192-98. Equipment for Sampling Water and Steam in Closed Conduits*. Annual Book of ASTM Standards 2006. Section 11.01 Water (I) Water and Environmental Technology. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials. *ASTM Designation: D 5463-03. Use of Test Kits to Measure Inorganic Constituent in Water¹*. Annual Book of ASTM Standards 2006. Section 11.01 Water (I) Water and Environmental Technology. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- Yang, Y. J., Goodrich, J. A., Clark, R. M., Li, S. Y. (2008). Modeling and Testing of Reactive Contaminant Transport in Drinking Water Pipes: Chlorine Response and Implications for Online Contaminant Detection, *Water Research*, 42, 1397-1412. DOI:10.1016/j.watres.2007.10.009