

## Analisis Kualitas Air Berdasarkan Konsentrasi Ozone ( $O_3$ ) pada Penyediaan Air Minum (PAM) di Gedung Perkantoran

Arif Susanto<sup>1,2,3,4,\*</sup>, Agus Riyanto<sup>2</sup>, Edi Karyono Putro<sup>3,5</sup>, Uli Amrina<sup>3</sup>, John Charles Wilmot<sup>3</sup>, Sulthan Muchammad Quds<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Green Technology Research Center, Program Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang 50241, Indonesia

<sup>2</sup> Departemen Keselamatan & Kesehatan Kerja, Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu & Teknologi Kesehatan, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi 40633, Indonesia

<sup>3</sup> Health Safety Environmental Departement, Divisi Concentrating PT Freeport Indonesia, Tembagapura 99960, Indonesia

<sup>4</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung 40263, Indonesia

<sup>5</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan & Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

\*Corresponding author: arifssnt@yahoo.com, arif.susanto@universitaskebangsaan.ac.id

Info Artikel: Diterima 15 Januari 2022 ; Direvisi 6 Maret 2022 ; Disetujui 6 Maret 2022

Tersedia online : 26 April 2022 ; Diterbitkan secara teratur : Juni 2022

**Cara sitasi (Vancouver):** Susanto A, Riyanto A, Putro EK, Amrina U, Wilmot JC, Quds SM. Analisis Kualitas Air Berdasarkan Konsentrasi Ozone ( $O_3$ ) pada Penyediaan Air Minum (PAM) di Gedung Perkantoran. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2022 Jun;21(2):122-130. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.2.122-130>.

### ABSTRAK

**Latar belakang:** Dalam memenuhi kebutuhan air minum pekerja Divisi Concentrating PT Freeport Indonesia (PTFI), perlu dilakukan pemantauan kualitas berdasarkan karakteristik air baku dan unit pengolahan yang digunakan. Sistem disinfeksi dengan *ozonasi* diterapkan PTFI bertujuan untuk membasmi mikroorganisme, terutama bakteri patogen, serta membuat air minum olahan menjadi lebih sehat, karena penggunaan disinfektan klor dapat mengalami masalah seperti terbentuknya *trihalomethanes* (THMs) maupun perhitungan *breakpoint chlorination* (BPC) yang kurang tepat. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi konsentrasi *ozone* ( $O_3$ ) di dalam penyediaan air minum (PAM) di gedung perkantoran OB-1 dan OB-2 Divisi Concentrating PTFI agar sesuai dengan Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan No. 705 tahun 2003 bahwa kadar  $O_3$  dalam air minum harus berkisar antara 0,1 sampai 0,4 mg/L.

**Metode:** Penelitian menggunakan metode observasi dan dilaksanakan pada bulan Juli sampai Oktober 2021. Desain penelitian menggunakan *cross sectional* dengan mengukur konsentrasi  $O_3$  pada sistem PAM. Teknik sampel yaitu sampel jenuh berdasarkan jumlah titik pemantauan yang hanya berjumlah 10 titik, yaitu titik atau stasiun distribusi yang terdiri atas 5 lantai pada setiap gedung. Analisis data menggunakan metode *Lagrangian*. Instrumen penelitian menggunakan perangkat lunak EPAnet agar dapat diperoleh simulasi konsentrasi  $O_3$  yang terkandung dalam air minum.

**Hasil:** Simulasi hidrolis dan kualitas air minum yang dilakukan menunjukkan hasil konsentrasi  $O_3$  pada setiap *node* dan *link* berubah setiap perubahan waktu mengikuti segmen distribusi air minum. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi sisa  $O_3$  di akhir pendistribusian yaitu pada bak penampungan air minum berkisar antara 0,33 sampai 0,39 mg/L. Konsentrasi  $O_3$  dapat dipengaruhi oleh faktor jarak, pH, suhu, dan kondisi lingkungan di sekitar pipa. Terdapat kecenderungan semakin jauh antara *reservoir* dengan konsumen, maka semakin sedikit pula sisa  $O_3$  yang terkandung didalamnya, hal ini dapat disebabkan oleh adanya reaksi, yaitu *bulk reaction* dan *pipe wall reaction*.

**Simpulan:** Konsentrasi awal  $O_3$  yang diinjeksikan pada proses disinfeksi memiliki konsentrasi sebesar 0,50 mg/L, konsentrasi tersebut terus berubah hingga pada saat air minum ditempatkan pada bak penyimpanan air

minum di gedung kantor OB-1 dan OB-2 Divisi Concentrating PTFI konsentrasinya menjadi berkisar antara 0,33 sampai 0,39 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas air minum yang diolah di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) telah memenuhi baku mutu.

**Kata kunci:** EPAnet; konsentrasi ozon ( $O_3$ ); kualitas air minum; ozonasi; penyediaan air minum (PAM).

## ABSTRACT

**Title:** *Water Quality Analysis Based on Ozone ( $O_3$ ) Concentration in Drinking Water Supply at the Office*

**Background:** *Monitoring the quality of the raw water and treatment units is necessary to meet the drinking water needs of the Concentrating Division employees of PT Freeport Indonesia (PTFI). Therefore, disinfection with ozonation implemented by PTFI aimed at eradicating microorganisms, particularly pathogenic bacteria, as well as making processed drinking water healthier because the use of chlorine disinfectants can cause problems, such as the formation of trihalomethanes (THMs) due to inaccurate breakpoint chlorination (BPC) calculations. This research aims to evaluate the ozone concentration in drinking water supply (PAM) in office buildings OB-1 and OB-2 PTFI Concentrating Division in compliance with the Decree of the Minister of Industry and Trade No. 705 of 2003 that states that ozone ( $O_3$ ) levels in drinking water should range from 0.1 to 0.4 mg/L.*

**Method:** *The observation method was used and conducted from July to October 2021. The concentration of  $O_3$  in the PAM system was measured using a cross-sectional design. In addition, the saturated sampling technique was used since the number of monitoring points was limited to 10, namely distribution points or stations consisting of 5 floors in each building. The Lagrangian method was used to analyze the data and the EPAnet software to obtain a simulation of the concentration of  $O_3$  in drinking water.*

**Results:** *The hydraulics and drinking water quality simulations reveal that the  $O_3$  concentration at each node and link varies depending on the drinking water distribution segment. The simulation results show that the residual  $O_3$  concentration at the end of the distribution, such as drinking water reservoirs, ranges from 0.33 to 0.39 mg/L. Furthermore,  $O_3$  concentration can be affected by distance, pH, temperature, and environmental conditions around the pipe. This indicates the greater the distance between the reservoir and the consumer, the less residual  $O_3$  contained in it, and this can be due to reactions, specifically bulk, and pipe wall reactions.*

**Conclusion:** *The initial concentration of ozone injected in the disinfection process was 0.50 mg/L, which continued to change until the drinking water was placed in storage tanks in the OB-1 and OB-2 office buildings of the PTFI Concentrating Division. The resulting concentration ranged from 0.33 to 0.39 mg/L, indicating that the drinking water treated at the Drinking Water Treatment Plant (IPAM) met the quality standards.*

**Keywords:** *drinking water supply; drinking water quality; EPAnet; ozone concentration; ozonation.*

## PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan dasar dan berperan penting dalam menunjang keberlangsungan hidup manusia. Air yang dapat digunakan manusia merupakan air bersih layak pakai untuk mencukupi kebutuhan sehari-hari terutama untuk air minum. Kebutuhan air minum meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dalam suatu wilayah. Kualitas air minum yang dialirkan ke masyarakat juga harus dapat memenuhi baku mutu, agar di masa mendatang tidak akan menyebabkan dampak maupun efek negatif terutama pada kesehatan.<sup>1</sup>

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes) Nomor 492 Tahun 2010<sup>2</sup> menyatakan bahwa air minum adalah air yang telah melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Peraturan terkait baku mutu air minum umumnya terdiri dari parameter fisik, kimiawi dan biologis. Kontaminan yang bersifat fisik dan kimiawi dapat direduksi menggunakan unit pengolahan *microfilter* dan *nanofilter*<sup>3</sup> yang sudah diterapkan oleh PT Freeport Indonesia (PTFI).

Kemudian, untuk polutan biologis seperti bakteri patogen pun dapat direduksi dengan menggunakan unit pengolahan disinfeksi.<sup>4</sup>

Disinfeksi merupakan metode untuk mendestruksi mikroorganisme yang tidak dikehendaki atau patogen dan berada di dalam air minum. Dalam pengolahan air minum, disinfeksi merupakan unit penting untuk mencegah masuknya mikroorganisme kedalam tubuh manusia melalui air minum, terutama mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus dan protozoa. Efisiensi destruksi dari unit disinfeksi sangat dipengaruhi oleh jenis disinfektan yang digunakan. Jenis disinfektan yang dapat digunakan tersebut bervariasi dan dapat disesuaikan dengan kualitas air dan target pengolahan.<sup>5</sup>

Pada umumnya, jenis disinfektan yang banyak digunakan di Indonesia adalah jenis larutan *kalsium hipoklorit* ( $Ca(OCl)_2$ ) atau biasa disebut kaporit, maupun gas klor. Kedua disinfektan tersebut dipilih karena harganya terjangkau dan mekanisme operasionalnya yang mudah. Namun dalam pelaksanaannya, penggunaan disinfektan klor dapat mengalami berbagai permasalahan dimulai dari

pembentukan *trihalomethanes* (THMs), terjadinya kebocoran tabung gas klor, hingga perhitungan *breakpoint chlorination* (BPC) yang kurang tepat.<sup>6</sup> THMs merupakan produk samping dari hasil reaksi antara klor dengan senyawa organik berhalogen yang terkandung dalam air. THM ini bersifat karsinogenik dan mutagenik, sehingga dapat meningkatkan risiko terbentuknya kanker di dalam tubuh manusia apabila masuk melalui air minum.<sup>7</sup>

Terjadinya kebocoran gas klor pun dapat menyebabkan dispersi gas yang menyebar luas melalui udara. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya efek negatif bagi pekerja maupun masyarakat di sekitar unit pengolahan air minum. Pada umumnya asap gas klorin dapat menyebabkan luka permanen pada pekerja.<sup>8</sup> Kontak langsung pada kulit dan mata dengan gas klorin yang bersifat iritan, sehingga menimbulkan iritasi. Ketika gas klorin masuk ke dalam tubuh melalui oral, akan dapat menyebabkan iritasi pada saluran gastrointestinal. Kemudian, kontak langsung gas klorin melalui inhalasi juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.<sup>9</sup>

Pada proses disinfeksi, penentuan dosis penambahan disinfektan klorin ditentukan berdasarkan perhitungan *breakpoint chlorination* (BPC). Dimana nilai BPC tersebut merupakan titik di mana semua zat yang dapat dioksidasi menjadi teroksidasi, ammonia hilang sebagai gas N<sub>2</sub>, dan masih ada sisa klorin bebas terlarut pada konsentrasi tertentu yang diperlukan untuk disinfeksi mikroorganismenya.<sup>6</sup> Namun, apabila pada perhitungan BPC ini mengalami kesalahan, konsentrasi sisa klorin bebas terlarut menjadi tidak sesuai, kemudian klor tersebut dapat mempengaruhi bau dan rasa dari air minum.<sup>10</sup>

Dalam mengatasi permasalahan yang terjadi pada penggunaan disinfektan klor tersebut, salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu menggunakan disinfektan jenis lain pada unit disinfeksi, misalnya *ozone* (O<sub>3</sub>) yang dikenal sebagai zat pengoksidasi kuat untuk menghilangkan rasa, bau dan warna pada air minum, sehingga air olahan yang dihasilkan akan lebih sehat dan segar dengan konsentrasi disinfektan sisa yang lebih rendah.<sup>11,12</sup> Sebagai oksidator kuat, kemampuan destruktif mikroba oleh O<sub>3</sub> juga semakin tinggi. Bakteri yang tersusun atas partikel-partikel protein dapat diputus rantainya oleh O<sub>3</sub> dengan mudah dan cepat.<sup>13</sup> Biaya konstruksi maupun biaya operasi dan pemeliharaan disinfeksi dengan O<sub>3</sub> memang lebih mahal dibandingkan dengan klorinasi. Namun, hal tersebut berbanding lurus dengan hasil yang diperoleh, dimana O<sub>3</sub> tidak meninggalkan residu atau sisa disinfektan pada air minum, termasuk pembentukan THMs yang dapat dicegah melalui *pre-ozonasi* dengan mengabungkan proses pengolahan O<sub>3</sub> dengan adsorpsi media karbon aktif.<sup>10</sup>

Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi efisiensi disinfeksi dengan disinfektan O<sub>3</sub> pada air minum di gedung perkantoran OB1 dan OB-2 Divisi Concentrating PTFI. Hal penting yang perlu

dievaluasi yaitu konsentrasi O<sub>3</sub> di dalam air minum, baik pada proses disinfeksi maupun saat setelah pengisian pada tanki-tanki distribusi. Menurut Surat Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan No 705 Tahun 2003<sup>14</sup> ditetapkan untuk proses *ozonasi* yaitu konsentrasi O<sub>3</sub> saat proses disinfeksi minimal 0,60 mg/L, sedangkan konsentrasi O<sub>3</sub> di dalam air minum sesaat setelah pengisian berkisar antara 0,10 sampai 0,40 mg/L. Dalam Surat Keputusan tersebut pun disebutkan bahwa setiap industri harus memantau konsentrasi O<sub>3</sub> di dalam tanki pencampur dan produk air minum. Oleh karena hal tersebut, PTFI dalam penyediaan air minum (PAM) bagi karyawan yang berada di perkantoran berkewajiban melakukan pemantauan kualitas air minumnya.

Pemantauan konsentrasi O<sub>3</sub> dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan, salah satunya yaitu dengan menggunakan *software* EPANet 2 dari *United States Environmental Protection Agency*.<sup>15</sup> Pemantauan konsentrasi O<sub>3</sub> tersebut dilakukan mulai dari unit tanki distribusi sampai tanki penyimpanan air minum yang diletakkan pada setiap lantai di gedung kantor OB-1 & OB-2 PTFI. Sepanjang pengaliran air minum tersebut, kapasitas dan kualitasnya termasuk konsentrasi O<sub>3</sub> harus terus dilakukan pemantauan. Pemodelan dengan *software* EPANet 2 ini difokuskan pada sistem hidrolis air minum dan memastikan konsentrasi O<sub>3</sub> yang terkandung dalam air minum memenuhi regulasi pemerintah Republik Indonesia.<sup>2,14</sup>

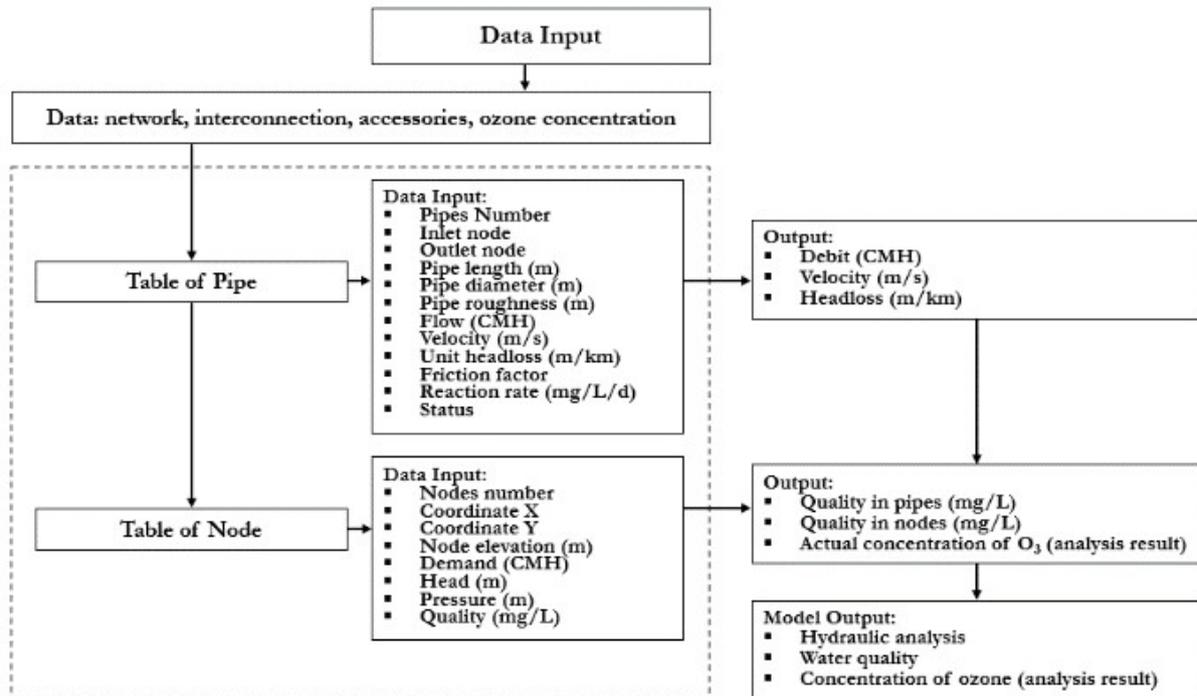
## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada sistem jaringan distribusi air minum di gedung kantor OB-1 & OB-2 Divisi Concentrating PTFI, dengan diagram alur penelitian digambarkan pada gambar 1. Lokasi penelitian tepat berada pada wilayah industri pengolahan bijih mineral di PTFI, dan digambarkan pada gambar 2 di bawah ini. Waktu pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai Oktober 2021. Penelitian menggunakan metode observasi. Desain penelitian menggunakan *cross sectional* dengan mengukur konsentrasi O<sub>3</sub> pada sistem PAM. Teknik sampel yang digunakan adalah sampel jenuh karena berdasarkan jumlah titik pemantauan yang hanya berjumlah 10 titik, yaitu titik atau stasiun distribusi yang terdiri atas 5 lantai pada setiap gedung. Analisis data menggunakan metode *Lagrangian*. Instrumen penelitian menggunakan perangkat lunak EPANet 2 agar dapat diperoleh simulasi konsentrasi O<sub>3</sub> yang terkandung dalam air minum.

Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data. Adapun data yang dimaksud yaitu data primer yang diambil dari analisis langsung di lapangan. Selain itu diperoleh pula data sekunder yang didapatkan melalui studi literatur seperti Peraturan Pemerintah dan sumber-sumber lain yang dapat mendukung berjalannya penelitian. Beberapa data yang didapatkan tersebut diantaranya yaitu kualitas air minum berdasarkan pencemarnya, data rata-rata

produksi air minum, data komponen fisik dan data komponen non fisik jaringan distribusi. Pada komponen fisik jaringan distribusi air minum terdiri

dari *junction*, *reservoir*, tanki, pipa dan *valve*. Sedangkan pada komponen non fisik jaringan distribusi air minum terdiri atas *time pattern*.



Gambar 1. Diagram alur penelitian.

Sumber: hasil elaborasi penulis dari Rossman (2000)<sup>16</sup> dan Susanto et al (2019)<sup>17</sup>.

Tahapan selanjutnya yaitu membuat pemodelan, dimulai dengan membuat gambar jaringan yang akan dimodelkan, kemudian memberikan penomoran pada setiap *node* dan pipanya. Langkah selanjutnya yaitu menentukan arah aliran secara visual di dalam jaringan serta mengisi properti data masukan pada model jaringan sesuai tabel input. Hal yang perlu dilakukan pada saat sebelum simulasi adalah memeriksa ulang kemungkinan adanya *node* ataupun pipa yang belum masuk pada model. Apabila sudah sesuai maka simulasi dengan *software* EPANet dapat dilakukan. Pada penelitian ini digunakan metode *Lagrangian*, yaitu sebuah metode dimana perjalanan segmen air dalam jaringan pipa distribusi akan diikuti perjalanannya. Dengan kata lain, segmen dapat berubah sesuai dengan perubahan posisi air minum yang diamati. Hal tersebut dapat disebabkan segmen air selama bergerak sepanjang pipa dapat bercampur bersama pada *junction* pada waktu tertentu.<sup>16</sup>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber air baku yang akan diolah menjadi air minum untuk dialirkan menuju gedung kantor OB-1 & OB-2 berasal dari pegunungan yang berjarak  $\pm$  300 m dari Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Air baku tersebut dialirkan dari pegunungan menuju IPAM secara gravitasi dengan menggunakan pipa *High-density polyethylene* (HDPE) yang memiliki diameter 4-inch, dan dilengkapi dengan *screen* di

bagian hulu agar serasah berupa dedaunan kering atau partikel pengotor yang berukuran besar tidak dapat masuk kebagian dalam pipa tersebut.

Selanjutnya, air baku tersebut akan diolah di IPAM dengan menggunakan unit pengolahan *microfilter*, *nanofilter* dan *reverse osmosis* (RO) untuk mengurangi warna, kekeruhan dan mikroorganisme berbahaya yang ada di dalam air baku.<sup>18</sup> Kemudian dilanjutkan dengan proses disinfeksi yang berfungsi untuk membunuh mikroorganisme yang ada di dalam air tersebut.<sup>19</sup> Disinfeksi dilakukan dengan menggunakan sistem *ozonasi*, yaitu dengan mengalirkan air dari unit *nanofilter* dan RO ke bak disinfeksi, kemudian O<sub>3</sub> diinjeksikan ke dalam tanki injeksi dan penyimpanan sementara, selanjutnya air yang terdistribusi melalui saluran *outlet* memiliki kandungan O<sub>3</sub> didalamnya.

Pada proses pendistribusian air minum, konsentrasi O<sub>3</sub> dapat berubah-ubah, baik disebabkan oleh faktor internal maupun eksternal, misalnya konsentrasi awal O<sub>3</sub> (*pada saat injeksi*), jarak antara tanki injeksi ke tanki distribusi, pH, suhu dan kondisi lingkungan. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan No. 705 Tahun 2003 tentang persyaratan teknik industri air minum di dalam kemasan, konsentrasi O<sub>3</sub> untuk proses disinfeksi sebesar  $\pm$  0,6 mg/L, sedangkan kadar O<sub>3</sub> di dalam produk berkisar antara 0,1 sampai 0,4 mg/L.



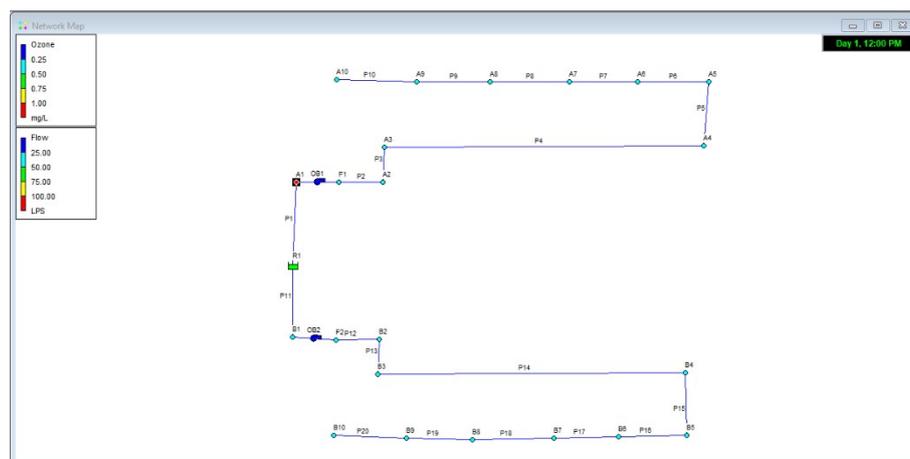
Gambar 2. Topografi sistem jaringan distribusi air minum pada wilayah industri pengolahan bijih mineral PTFI. Sumber. hasil elaborasi penulis (2021).

Pemantauan konsentrasi  $O_3$  ini harus dilakukan pada sepanjang jaringan distribusi air minum, agar syarat konsentrasi minimum  $O_3$  dapat terpenuhi. Volume air yang disimpan di dalam tangki injeksi cenderung bervariasi berdasarkan durasi waktu dengan elevasi tangki. Elevasi dasar tangki sebesar 0,05 m dan konsentrasi awal  $O_3$  direncanakan sebesar 0,50 mg/L. Input dasar tangki terdiri dari elevasi (meter), ketinggian air maksimum-minimum (meter), diameter tangki (meter) dan kualitas air pada ketinggian awal (mg/L). Hasil perhitungan di tangki dapat bervariasi tergantung dari kebutuhan air dan kehilangan tekanan (*headloss*) yang berubah di setiap waktu.

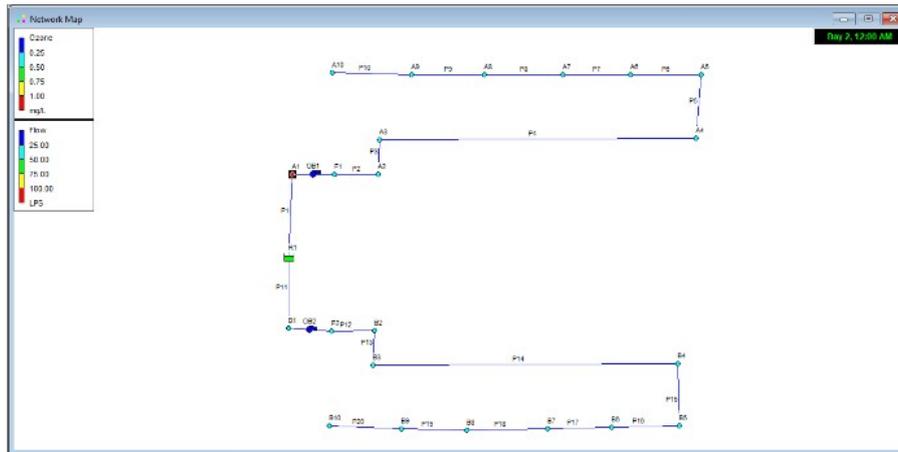
Pipa yang digunakan pada sepanjang jalur distribusi air minum dari tangki injeksi sebagai tangki penyimpanan sementara ke setiap tangki distribusi menggunakan jenis pipa HDPE yang memiliki diameter 1-inch. Pipa HDPE ini dipilih dikarenakan memiliki keunggulan antara lain yaitu tahan terhadap

korosi, keretakan, maupun kerusakan semisal oleh gempa, juga memiliki stuktur yang ringan dan permukaannya licin atau halus yang memperkecil adanya gaya gesek (*friction*). Dasar input pipa terdiri dari data *node* awal dan akhir, panjang pipa (meter), diameter pipa (meter), nilai koefisien kekasaran dan status awal (terbuka atau tertutup).

Hasil komputasi dari *software* EPANet memberikan data volume aliran dalam LPS (*liter per second*), kecepatan aliran dalam pipa (m/s), *headloss* (m/km), dan kualitas air untuk konsentrasi sisa  $O_3$  (mg/L). *Junction* yang ditambahkan merupakan titik pada jaringan dimana garis bertemu (*persimpangan*) serta titik di mana air masuk maupun keluar dari jaringan. Input dasar *junction* dalam penelitian ini meliputi elevasi dalam meter (m), kebutuhan air yang diukur dalam LPS dan kualitas air awal untuk konsentrasi awal  $O_3$  dalam mg/L.



Gambar 3. Hasil Simulasi Hidrolis dan Konsentrasi *Ozone* pada Jam ke-12 Sumber. hasil elaborasi penulis (2021).



Gambar 4. Hasil Simulasi Hidrolis dan Konsentrasi *Ozone* pada Jam ke-24  
Sumber. hasil elaborasi penulis (2021).

Pada gambar 3 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa posisi *reservoir* berada pada IPAM yang berada di antara gedung kantor OB-1 & OB-2. Proses simulasi dilakukan pada konsentrasi  $O_3$  yang berada pada tanki penyimpanan sementara (tanki yang digunakan untuk injeksi  $O_3$ ). Pada proses disinfeksi maka  $O_3$  yang diinjeksikan yaitu dengan konsentrasi awal sebesar 0,5 mg/L. Tahap selanjutnya konsentrasi  $O_3$  ini terus diawasi di sepanjang jaringan perpipaan hingga menuju tanki distribusi air minum di gedung kantor OB-1 & OB-2 pada setiap lantai gedung tersebut.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi sisa  $O_3$  di akhir pendistribusian yaitu pada bak penampungan air minum berkisar antara 0,33 sampai 0,39 mg/L. Nilai konsentrasi tersebut masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan 705 tahun 2003, yaitu berkisar antara 0,1 sampai 0,4 mg/L. Selain data konsentrasi  $O_3$ , pada tabel 1 juga

menunjukkan data lengkap terkait panjang dan diameter pipa, debit dan kecepatan aliran, serta *headloss* dan *friction*. Konsentrasi  $O_3$  di setiap pipa memiliki nilai konsentrasi yang berbeda-beda. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya, jarak, pH, suhu, dan kondisi lingkungan di sekitar pipa.<sup>20</sup>

Kadar bahan kimia di dalam air akan berkurang selama waktu perjalanan air dari IPAM hingga ke konsumen. Hal ini disebabkan adanya daya kerja bahan kimia selama perjalanan, kontak dengan mikroorganisme yang dapat menyebabkan kontaminasi, serta adanya kebocoran yang disebabkan oleh jaringan pipa yang tidak efisien.<sup>21,22,23</sup> Terdapat kecenderungan semakin jauh antara *reservoir* dengan konsumen, maka semakin sedikit pula sisa  $O_3$  yang terkandung di dalamnya. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya dua reaksi, yaitu *bulk reaction* dan *pipe wall reaction*.

Tabel 1. Data Hidrolis dan Konsentrasi *Ozone* Jam ke-12 dan ke-24

Node ID	Demand (LPS)	Head (m)	Pressure (m)	Ozone (mg/L)
A1	0	1.15	0.15	0.48
A2	0	39.39	34.39	0.46
A3	0	39.38	34.38	0.44
A4	0	39.32	16.32	0.42
A5	0	39.31	16.31	0.40
A6	0.01	39.29	20.29	0.39
A7	0.01	39.29	24.29	0.37
A8	0.01	39.28	28.28	0.36
A9	0.01	39.28	32.28	0.35
A10	0.01	39.28	36.28	0.33
B1	0	1.15	0.15	0.48
B2	0	39.39	34.39	0.46
B3	0	39.38	34.38	0.44
B4	0	39.32	16.32	0.42
B5	0	39.31	16.31	0.40
B6	0.01	39.29	20.29	0.39

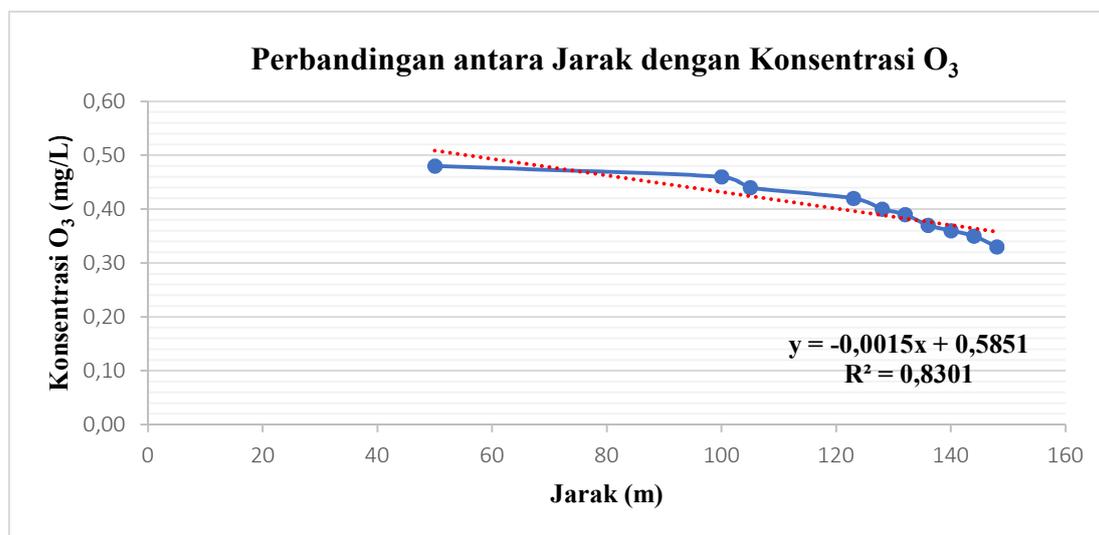
B7	0.01	39.29	24.29	0.37
B8	0.01	39.28	28.28	0.36
B9	0.01	39.28	32.28	0.35
B10	0.01	39.28	36.28	0.33
F1	0	39.55	38.55	0.48
F2	0	39.55	38.55	0.48
R1	-0.1	1.3	0	0.5

Sumber. Data simulasi hidrolis EPAnet (2021).

*Bulk reaction* merupakan pengurangan konsentrasi O<sub>3</sub> akibat bereaksi dengan komponen-komponen yang terlarut dalam air. Komponen tersebut dapat berupa komponen organik maupun mikroorganisme<sup>24</sup> yang ada di dalam pipa. Sedangkan, *pipe wall reaction* merupakan pengurangan konsentrasi O<sub>3</sub> akibat reaksi dengan dinding pipa. Reaksi tersebut terjadi karena adanya lapisan *biofilm* yang menyebabkan korosi pada pipa, hal ini dapat diminimalisasi dengan pemilihan jenis dan diameter pipa yang tepat.<sup>16</sup>

Gambar 5 merupakan hasil dari perhitungan perbandingan antara jarak dari reservoir ke titik akhir

air minum yang terkandung konsentrasi O<sub>3</sub>. Persamaan yang diperoleh yaitu  $y = -0,0015x + 0,5851$ , dengan nilai regresi  $R^2 = 0,8301$  di mana nilai ini diperoleh berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel 1. Berdasarkan grafik perbandingan tersebut menyatakan bahwa konsentrasi O<sub>3</sub> akan berkurang sebanyak 0,0015 mg/L per meter jarak dengan konsentrasi awal O<sub>3</sub> yang direncanakan 0,5851 mg/L. Dengan kata lain, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi O<sub>3</sub> mencapai 0 mg/L atau habis apabila jarak tempuh dari reservoir telah mencapai 390 meter.



Gambar 5. Perbandingan pengaruh Jarak dan Konsentrasi O<sub>3</sub>.  
Sumber. hasil elaborasi penulis (2021).

Faktor selanjutnya yang mempengaruhi proses *ozonasi* adalah pH. Pada pH basa yaitu pH lebih dari 8, kehadiran ion OH<sup>-</sup> berperan sebagai inisiator dalam proses dekomposisi O<sub>3</sub> menjadi OH<sup>•</sup>. Saat O<sub>3</sub> bereaksi dengan OH<sup>-</sup> akan dihasilkan OH<sup>•</sup>, O<sub>2</sub> dan HO<sub>2</sub><sup>•</sup> di dalam air. OH radikal merupakan salah satu oksidator kuat dengan potensial oksidasi sebesar 2,8 Volt dan bersifat non selektif, sehingga setiap senyawa yang tidak teroksidasi oleh O<sub>3</sub> akan teroksidasi oleh OH radikal. Oleh karenanya dapat dikatakan kelarutan O<sub>3</sub> semakin menurun dengan meningkatnya pH.<sup>25</sup> Berdasarkan sifat fisiknya kelarutan O<sub>3</sub> di dalam air minum juga dipengaruhi oleh suhu air. Kelarutan O<sub>3</sub> yang lebih besar dalam air minum secara otomatis akan meningkatkan konsentrasinya, sehingga

kemampuan oksidasi O<sub>3</sub> akan semakin meningkat. Suhu optimum untuk proses *ozonasi* adalah 50°C.<sup>26</sup>

**SIMPULAN**

Simpulan dari hasil penelitian bahwa berdasarkan hasil simulasi hidrolis dan kualitas air untuk konsentrasi O<sub>3</sub> pada setiap *node* dan *link* pada sistem jaringan distribusi air minum dari IPAM menuju gedung kantor OB-1 & OB-2 berubah pada setiap perubahan waktu, dan mengikuti segmen distribusi air minum. Pada injeksi konsentasi awal O<sub>3</sub> sebesar 0,5 mg/L di tanki injeksi diketahui konsentrasi O<sub>3</sub> sisa berkisar antara 0,33 sampai 0,39 mg/L pada setiap tanki distribusi air yang ada. Nilai konsentrasi tersebut sudah cukup baik karena telah memenuhi standar baku mutu. Saran dari hasil penelitian ini

diharapkan penyelenggara dalam PAM perlu selalu melakukan pemantauan secara aktual di lapangan agar konsentrasi O<sub>3</sub> agar dapat tetap stabil untuk mencapai derajat kesehatan pekerja dapat tercapai dengan efektif dan efisien. Dan dipastikan konsentrasi O<sub>3</sub> tidak melebihi batas maksimum sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku. Selain itu, pemutakhiran data sangat diperlukan pada setiap perubahan untuk komponen fisik maupun non-fisik sistem jaringan distribusi air minum di gedung kantor OB-1 & OB-2 PTFI.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Kesumaningrum F, Ismayanti NA, Muhaimin M. Analisis Kadar Logam Fe, Cr, Cd dan Pb Dalam Air Minum Isi Ulang di Lingkungan Sekitar Kampus Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Menggunakan Spektrofotometer Serapam Atom (SSA). *Indonesian Journal of Chemical Analysis* 2019, 2(1): 41-46. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol2.iss1.art6>.
2. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. <http://www.ampl.or.id/digilib/read/24-peraturan-menteri-kesehatan-republik-indonesia-no-492-menkes-per-iv-2010/50471>
3. Kalsum L, Aneasari, Zikri A, Tanjun, Y, Oktavia Y, Aulia A, Lismayani, Arinda. Kinerja Sistem Filtrasi Dalam Menurunkan Kandungan TDS Fe dan Organik dalam Pengolahan Air Minum. *Jurnal Kinetika* 2019, 10(1): 46-49. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/2988>.
4. Kurniati E, Huy VT, Anugroho F, Sulianto AA, Amalia N, Nadhifa AR. Analisis Pengaruh pH dan Suhu Pada Desinfeksi Air Menggunakan Microbubble dan Karbondioksida Bertekanan. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan* 2020, 10 (2): 247-256. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.247-256>.
5. Ratnawati E. Pengaruh Waktu Reaksi dan Suhu pada Proses Ozonasi Terhadap Penurunan Warna, COD dan BOD Air Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Kimia Kemasan* 2011, 33(1): 107-112. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v33i1.1836>.
6. Herawati D, Yuntarso A. Penentuan Dosis Kaporit Sebagai Disinfektan Dalam Menyisihkan Konsentrasi Ammonium Pada Air Kolam Renang. *Jurnal Sain Health* 2017, 1(2): 13-22. <http://dx.doi.org/10.51804/jsh.v1i2.106.66-74>.
7. Haifan M. Review Kajian Aplikasi Teknologi Ozon untuk Penanganan Buah Sayuran dan Hasil Perikanan. *Jurnal IPTEK* 2017, 1(1): 15-21. <https://doi.org/10.31543/jii.v1i1.99>.
8. Rosita D, Zaenab S, Budiyanto AK. Analisis Kandungan Klorin Pada Beras yang Beredar di Pasar Besar Kota Malang sebagai Sumber Belajar Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia* 2016, 2(1): 88-93. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v2i1.3386>.
9. Hermiyanti P. Pengaruh Paparan Klorin di Udara Terhadap Peroksida Lipid Pada Pekerja Kolam Renang. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes* 2016, 7 (2): 85-88. <http://dx.doi.org/10.33846/%25x>
10. Said NI. Disinfeksi Untuk Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia* 2007, 3(1): 527-558. <https://doi.org/10.29122/jai.v3i1.2314>.
11. Agustini S, Rienoviar R. Pengaruh Konsentrasi Ozon terhadap Cemarkan Mikroba Pada Air Minum Dalam Kemasan. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 2011, 22 (1): 44-51. <https://doi.org/10.28959/jdpi.v22i1.538>.
12. Nabih FN, Takwanto A, Rahayu M. Pengaruhh Konsentrasi Ozon terhadap Nilai pH dan Total Dissolved Solid (TDS) Produk Air Minum Dalam Kemasan (AMDK). *Distilat Jurnal Teknologi Separasi* 2021, 7(2): 347-352. <http://dx.doi.org/10.33795/distilat.v7i2.239>.
13. Isyuniarto I, Usada W, Suryadi S, Purwadi A, Mintolo M, Rusmanto T. Identifikasi Ozone dan Aplikasinya Sebagai Disinfektan. *Ganendra: Majalah IPTEK Nuklir* 2002, 5(1): 15-22. <https://doi.org/10.17146/gnd.2002.5.1.209>.
14. Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia Nomor: 705/MPP/Kep/11/2003 Tentang Persyaratan Teknis Industri Air Minum Dalam Kemasan dan Perdaganganannya. <http://jdih.kemendag.go.id/peraturan/stream/1441/2>.
15. United States Environmental Protection Agencies (USEPA). Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.
16. Rossman LA. EPANET 2 User Manual. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH. United Nation Environmental Protection Agency. 2000.
17. Susanto A, Purwanto P, Hadiyanto A. Analisis Kualitas Air untuk Konsentrasi Fluoride pada Sistem Jaringan Distribusi Air Minum dengan Fluoridasi. *Ensains Journal* 2019, 2(1): 11-18. <https://doi.org/10.31848/ensains.v2i1.149>.
18. Cescon A, Jiang JQ. Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. *Water* 2020, 12(12): 3377. <https://doi.org/10.3390/w12123377>.
19. Ratnawati R, Sugito S. Proses Disinfeksi pada Pengolahan Air Limbah Domestik Menjadi Air Bersih sebagai Air Baku Air Minum. *WAKTU: Jurnal Teknik* 2013, 11(2): 1412-1867. <https://doi.org/10.36456/waktu.v11i2.815>
20. Afrianita R, Komala PS, Andriani Y. Kajian Kadar Sisa Klor di Jaringan Distribusi Penyediaan Air Minum Rayon 8 PDAM Kota

- Padang. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II 2016: 144-152. [http://lingkungan.ft.unand.ac.id/images/fileTL/SNSTL\\_II/OP\\_026.pdf](http://lingkungan.ft.unand.ac.id/images/fileTL/SNSTL_II/OP_026.pdf).
21. Rifani M, Raharja M, Isnawati I. Kadar Sisa Klor Terhadap Nilai MPN Coliform pada Jaringan Perpipaan PDAM di Kabupaten Hulu Sungai Utara. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 2016, 13(2): 368-374. <https://doi.org/10.31964/jkl.v13i2.35>.
  22. Ginanjarwati W, Setiani O, Dewanti NAY. Hubungan Jarak Rumah ke Instalasi Pengolahan Air. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 2018, 6(6): 386-392. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm/article/view/22210>.
  23. Sofia E, Riduan R, Abdi C. Evaluasi Keberadaan Sisa Klor Bebas di Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* 2015, 1(1): 33-52. <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v1i1.1043>.
  24. Sofia DR. Perbandingan Hasil Disinfeksi Menggunakan Ozon dan Sinar Ultraviolet terhadap Kandungan Mikroorganisme pada Air Minum Isi Ulang. *Agroscience* 2019, 9(1): 82-92. <https://doi.org/10.35194/agsci.v9i1.636>.
  25. Putri K, Andrio D, Yenie E. Pengaruh pH dan Waktu Kontak Ozonisasi terhadap Biodegradability Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 2016, 3(1): 1-5. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/9942/9604>.
  26. Ratnawati E. Pengaruh Waktu Reaksi dan Suhu pada Proses Ozonasi terhadap Penurunan Warna, COD dan BOD Air Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Kimia Kemasan* 2011, 33(1): 107-112. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v33i1.1836>.



©2022. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.