

Kinerja Kaporit dalam Penyisihan *E.Coli* pada Air Pengolahan PDAM

Puti Sri Komala^{1,*}), Feni Agustina¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: putisrikomala@ft.unand.ac.id^{*)}

Abstrak

Desinfektan kaporit merupakan salah satu jenis desinfektan yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air minum. Namun, penggunaan kaporit yang berlebihan dapat mengganggu kesehatan manusia. Dalam penelitian ini akan dievaluasi efektivitas desinfektan kaporit terhadap bakteri *E.coli* pada air pengolahan unit filtrasi di PDAM Gunung Pangilun Padang. Untuk menentukan kadar kaporit optimum dilakukan percobaan artifisial menggunakan jumlah *E.coli* yang sama dengan sampel air outlet unit filtrasi, yaitu sebesar 920 sel/100 ml. Dari percobaan diperoleh dosis optimum kaporit 0,5 mg/l dengan waktu kontak 30 menit dengan efisiensi penyisihan sebesar 100%, laju kematian sebesar 0,277/menit serta koefisien letal spesifik sebesar 0,554 /mg.menit. Percobaan pada sampel air dari outlet unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun diperoleh penyisihan bakteri *E.coli* sebesar 99,61%. Adanya senyawa-senyawa kimia lain dalam air telah menurunkan efektifitas desinfektan.

Kata kunci: Desinfektan kaporit, penyisihan *E.coli*, air pengolahan PDAM

Abstract

Chlorine is one of the most widely used disinfectant in drinking water treatment. However, excessive use of chlorine can interfere the human health. In this study the effectiveness of chlorine disinfectant against E.coli in treated water treated of the filtration unit's water treatment plant Gunung Pangilun Padang was evaluated. To determine the optimum chlorine dose the artificially experiments was conducted by using the same number of E.coli samples from the outlet of the water filtration unit, that is 920 cells/100 ml. Results showed that the optimum chlorine dosage of 0.5 mg/l with a contact time of 30 minutes provided a removal efficiency of 100% E.coli, the death rate of 0,277/min and specific lethal coefficient of 0.554 /mg.menit. In the real water samples of the filtration unit's treated water 99.61% of E. coli removal efficiency was obtained. The presence of other chemical compounds in the water had reduced the effectiveness of disinfectants.

Keywords: Chlorine disinfectant, *E.coli* removal, water treatment plant

1. Pendahuluan

Sungai sebagai salah satu sumber air baku untuk air minum meskipun kuantitasnya tinggi, namun dari segi kualitas air sungai mudah dicemari oleh lingkungan di sekitarnya. Aktifitas manusia, seperti mencuci, mandi, membuang sampah dan limbah lainnya di sekitar sungai dapat menyebabkan terjadinya pencemaran bahan organik dan anorganik, maupun biologis. Kondisi ini diperkirakan dapat mencemari perairan, baik secara fisik, kimiawi maupun mikrobiologi. Indikator pencemaran mikrobiologi umumnya menggunakan *Fecal coli (E.coli)*, yaitu mikroorganisme indikator sebagai petunjuk adanya kontaminasi tinja di dalam air [1]. *E.coli* merupakan salah satu penyebab penyakit diare, yaitu penyakit bawaan air (*waterborne diseases*) yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen dalam air [2].

Mikroorganisme patogen dalam air dapat dihilangkan secara bertahap melalui unit-unit pengolahan air minum dan disempurnakan dengan proses desinfeksi [3]. Desinfeksi adalah suatu proses pengolahan air untuk membunuh bakteri patogen menggunakan bahan desinfektan. Beberapa jenis desinfektan yang sering digunakan dalam proses penghilangan mikroorganisme, yaitu ozon, radiasi ultraviolet dan klorinasi. Namun, desinfektan yang umum digunakan di Indonesia adalah kalsium hipoklorit [$\text{Ca}(\text{ClO})_2$] atau kaporit, karena harganya relatif murah, bersifat stabil dan dapat disimpan lebih lama [4]. Meskipun desinfeksi dengan klorin efektif untuk membasmi mikroorganisme patogen, namun ada kekhawatiran akan efek samping akibat penggunaan kaporit yang disebut *Disinfection By Product (DBP)*. DBP merupakan reaksi kaporit dengan senyawa organik yang terkandung dalam air baku, DBP dapat mengakibatkan kerusakan sel dan bersifat karsinogenik, sehingga diperlukan penentuan dosis desinfektan yang tepat agar air hasil desinfeksi terbebas dari DBP [5]. Pembubuhan desinfektan yang dilakukan setelah unit filtrasi harus memperhitungkan adanya residu klor sebesar 0,2-0,5 mg/l di jaringan distribusi [6]. Efektivitas desinfeksi dapat dipengaruhi oleh hadirnya senyawa lain, diantaranya besi, mangan, nitrit serta ammonia. Senyawa ini dapat menurunkan kinerja desinfektan kaporit karena desinfektan akan bereaksi terlebih dahulu dengan senyawa-senyawa sebelum proses desinfeksi dengan bakteri [3].

PDAM Gunung Pangilun merupakan salah satu PDAM yang menggunakan air sungai sebagai sumber air baku untuk air minum. Kandungan parameter fisika dan kimia yang berbeda dalam air sungai, mengakibatkan dosis kaporit yang diberikan juga akan berbeda pula. Untuk itu diperlukan dosis desinfektan dan waktu kontak yang tepat. Sururi [7] melaporkan bahwa nilai CT yang efektif untuk menyisihkan bakteri *E.coli* pada sampel air dari unit filtrasi PDAM Kota Bandung sebesar 3 mg.menit/l pada waktu kontak 30 menit dan konsentrasi kaporit sebesar 2 mg/l.

Dalam penelitian ini efektifitas desinfektan kaporit dalam penyisihan bakteri *E.coli* pada outlet unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun akan dievaluasi. Lebih jauh, penentuan kinetika desinfeksi meliputi laju inaktivasi desinfektan, konsep CT dan aplikasi pada air pengolahan PDAM akan dikaji. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kualitas bakteriologis air sungai hasil pengolahan PDAM Gunung Pangilun dan masukan dalam pemberian desinfektan yang efektif.

2. Kajian Pustaka

Desinfeksi air minum bertujuan membunuh bakteri patogen yang ada di dalam air. Desinfeksi air dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu pemanasan, penyinaran antara lain dengan sinar UV, ion-ion logam antara lain dengan *copper* dan *silver*, asam atau basa, senyawa-senyawa kimia, dan dengan klorinasi [8]. Metode desinfeksi yang paling umum digunakan di Indonesia adalah dengan menggunakan klor. Selain dapat membasmi bakteri dan mikroorganisme seperti amoeba, ganggang, dan lain-lain, klor dapat mengoksidasi Fe^{2+} dan Mn^{2+} menjadi Fe^{3+} dan Mn^{4+} serta memecah molekul organik seperti warna. Kalsium Hipoklorit atau yang sering dikenal dengan kaporit merupakan senyawa klor berbentuk bubuk atau tablet. Kaporit bila ditambahkan ke dalam air akan terhidrolisis menghasilkan ion klor dan asam hipoklorit. Dalam proses klorinasi ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan dosis klor yang tepat, antara lain [9]:

1. Tahapan proses

- Chlor Demand* yaitu jumlah klor yang dibutuhkan untuk melakukan proses kimia dengan zat-zat organik dalam air dengan segera.
- Daya Pengikat Klor adalah kemampuan zat klor di dalam air dalam melakukan proses kimia untuk mengikat zat organik yang selanjutnya membentuk senyawa-senyawa klorida yang akan berfungsi sebagai desinfektan terhadap beberapa kuman patogen.
- Break Point Chlorination* adalah suatu titik belok atau retak yang menunjukkan awal proses dicapainya kestabilan senyawa klor dalam air dimana proses kebutuhan klor untuk mengikat zat organik akan menurun dan proses pembentukan senyawa klorida sebagai bahan desinfeksi akan menuju kestabilan.

- d. Sisa Klor Aktif yaitu kandungan senyawa klor di dalam air yang dihasilkan yang tersisa dari keseluruhan proses klorinasi yang akan berfungsi sebagai angka aman klor bagi air.

2. Tahap uji Daya Pengikat Klor (DPC)

Untuk dapat mendukung tahapan proses di atas, terlebih dahulu dilakukan uji DPC, yaitu dengan uji sisa klor segera dan sisa klor tetap pada sampel air melalui persamaan:

$$\text{DPC (mg/l)} = \text{klor segera} - \text{sisa klor tetap} \quad (1)$$

3. Tahap penentuan dosis klor

Penentuan dosis ini harus mengacu pada hasil DPC yang telah dilakukan serta angka sisa klor yang ditentukan dalam air tersebut.

4. Tahap pengukuran debit air

Debit air yang diklorinasi harus diketahui secara pasti dan akurat, dengan pengukuran yang tepat. Dengan diketahuinya debit aliran air, maka tingkat kebutuhan klor per liter air bisa dihitung secara tepat.

5. Tahap perhitungan kebutuhan bahan klor

Setelah dosis dan debit telah diketahui semua angka dan nilainya, maka kebutuhan bahan klor bisa dihitung sesuai dengan berapa lama rencana proses klorinasi berjalan. Kebutuhan klor yaitu dalam satuan mg/hari, gr/hari atau kg/bulan.

2.1 Laju kematian bakteri

Efektivitas proses desinfeksi dapat dilihat dari nilai Konstanta laju kematian (k), koefisien letal spesifik (Λ) dan nilai Ct . Konstanta laju kematian (k) bakteri *E.coli* diperoleh dengan menggunakan persamaan Chick [3]:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kt \quad (2)$$

Plot $\ln N_t/N_0$ terhadap t akan menghasilkan k sebagai gradien persamaan linier.

Dimana:

k = konstanta laju kematian (waktu^{-1})

N_t = jumlah mikroba pada waktu ke- t

N_0 = jumlah mikroba pada waktu ke-0

t = waktu

Koefisien letal spesifik (Λ) bakteri *E.coli* dihitung dengan menggunakan persamaan Chick-Watson [3]:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\Lambda C^n t \quad (3)$$

Konstanta koefisien kelarutan (n) menunjukkan pentingnya konsentrasi desinfektan atau waktu kontak dalam proses inaktivasi mikroorganisme yang diperoleh dengan menggunakan persamaan Watson [3] (Asano, 2007):

$$k = \Lambda C^n \quad (4)$$

Dimana:

k = konstanta laju kematian (waktu^{-1})

Λ = Koefisien letal spesifik ($1/\text{mg.waktu}$)

C = konsentrasi desinfektan (mg/l)

n = koefisien pelarutan

2.2 Konsep Ct

Konsep Ct merupakan dasar dalam teori desinfeksi yang menggambarkan efektifitas proses desinfeksi tersebut. Nilai Ct diperoleh dengan mengalikan konsentrasi desinfektan dengan waktu kontak desinfeksi [10] yaitu:

$$Ct = \text{konstan} \quad (5)$$

Dimana:

C = konsentrasi desinfektan (mg/l)

T = waktu kontak

2.3 Laju pertumbuhan bakteri

Pertumbuhan bakteri yang terjadi selama proses desinfeksi kemungkinan dapat terjadi terutama jika efektifitas desinfeksi menurun dan masih terdapat sumber makanan bagi bakteri. Untuk menghitung laju pertumbuhan bakteri digunakan persamaan Monod sebagai berikut [11].

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (6)$$

$$\ln X = \ln X_0 + \mu t \quad (7)$$

Untuk mendapatkan persamaan garis, maka persamaan (7) dapat diubah bentuknya menjadi:

$$\frac{\ln X}{\ln X_0} = \mu \cdot t \quad (8)$$

Maka plot $\ln X$ terhadap t akan menghasilkan μ sebagai gradien persamaan linier yang merupakan konstanta laju pertumbuhan bakteri.

3. Metodologi

3.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah biakan murni bakteri *E.coli* yang diperoleh dari Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Andalas dan kaporit untuk percobaan artifisial. Lugol, safranin, kristal violet, dan alkohol untuk pewarnaan gram. Selain itu, digunakan pula beberapa media cair yaitu *Nutrient Broth* (NB) untuk meremajakan bakteri, *Lactose Broth* (LB) dan *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB) untuk uji MPN serta media padat yaitu *Nutrient Agar* (NA) untuk pembiakan bakteri. Asam asetat glasial pekat (CH_3COOH), kalium iodida (KI), natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan amilum digunakan untuk mengukur sisa klor. Senyawa amonia yang digunakan berasal dari larutan induk NH_4Cl dan nitrat yang berasal dari larutan induk KNO_3 .

3.2 Pemiakan bakteri *E.coli*

Pemiakan bakteri diperlukan untuk melakukan percobaan artifisial. Biakan murni bakteri *E.coli* diperoleh dari Laboratorium Biologi, diremajakan pada media miring dalam wadah berupa *test tube* dengan tujuan mendapatkan stok bakteri *E.coli* yang cukup. Koloni bakteri akan terlihat dengan jelas setelah 48-72 jam yang ditandai dengan adanya lendir pada permukaan media. Selanjutnya, koloni bakteri tersebut dikayakan pada media *Nutrient Broth* (NB) dalam *erlenmeyer* 200 ml. *Erlenmeyer* ditutup menggunakan kapas steril dan *dishaker* pada kecepatan 80 rpm selama 24 jam. Kultur yang tumbuh ditandai dengan kekeruhan dan siap untuk digunakan pada percobaan artifisial.

3.3 Karakterisasi Air Proses Filtrasi PDAM Gunung Pangilun

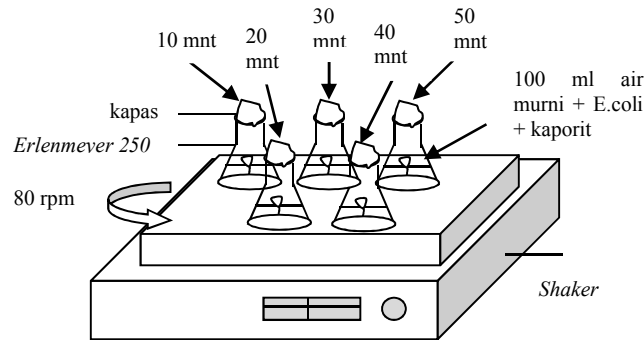
Karakterisasi sampel air PDAM Gunung Pangilun dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia dan biologi. Parameter fisika yang diukur meliputi bau, warna, TDS, kekeruhan dan suhu. Parameter kimia yang diukur yaitu, aluminium, besi, kesadahan, klorida, mangan, pH, seng, sulfat, tembaga, ammonia, nitrat, nitrit, BOD, COD, timbal, kalsium, magnesium, dan kadmium. Parameter biologi yang diukur adalah bakteri *E.coli*. Metode yang digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri adalah metoda MPN (*Most Probable Number*) atau JPT (Jumlah Perkiraan Terdekat). Sampel air di ambil secara *grab* pada *outlet* unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun dengan menggunakan botol yang steril. Volume sampel air yang diambil adalah sebanyak 2 liter. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada saat musim hujan dengan menggunakan botol sampling yang steril. Pengambilan sampel pada musim hujan dimaksudkan agar mendapatkan jumlah bakteri *E.coli* yang maksimum.

3.4 Optimasi Proses Klorinasi pada Larutan Artifisial

Percobaan ini dilakukan untuk memperoleh dosis kaporit dan waktu kontak optimum menggunakan air *aquadest* steril sebagai larutan artifisial. Jumlah bakteri *E.coli* yang digunakan dalam percobaan ini sesuai dengan jumlah bakteri *E.coli* yang terdapat pada sampel air *outlet* unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun. Kondisi optimum yang diperoleh digunakan selanjutnya pada proses desinfeksi pada sampel air *outlet* unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun.

Sebelum menentukan dosis kaporit terlebih dahulu dilakukan percobaan penentuan Daya Pengikat Chlor (DPC) pada larutan artifisial yang telah ditambahkan bakteri *E.coli*. Dalam satu liter sampel air ditambahkan 1 mg/l kaporit, kemudian didiamkan selama 30 menit. Sisa klor dihitung, kemudian DPC dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Variasi dosis kaporit ditentukan dengan mengambil rentang DPC yang diperoleh. Biakan bakteri *E.coli* sesuai jumlah bakteri *E.coli* pada sampel air PDAM dimasukkan pada masing-masing 5 buah erlenmeyer 100 ml [12]. Kemudian larutan *aquadest* dimasukkan pada Erlenmeyer tersebut. Larutan artifisial yang mengandung bakteri *E.coli* tersebut di *shaker* dengan kecepatan 80 rpm selama 20 menit, agar bakteri *E.coli* dapat tercampur. Tambahkan dosis kaporit sesuai dengan rentang DPC pada 5 buah erlenmeyer tersebut. Kemudian *shaker* kembali masing-masing erlenmeyer selama waktu kontak. Setiap erlenmeyer *dishaker* sesuai dengan waktu kontak 10, 20, 30, 40 dan 50 menit (Gambar 1), variasi ini digunakan berdasarkan penelitian Sururi [13], kemudian segera dilakukan pengukuran jumlah sel bakteri *E.coli* dengan metoda MPN.

Kondisi optimum ditentukan dengan tingkat kematian bakteri *E.coli* tertinggi dan waktu kontak tersingkat. Pengukuran sisa klor dilakukan pada kondisi optimum yang diperoleh. Dari percobaan-percobaan tersebut di atas ditentukan kinetika desinfektan melalui persamaan 2 sampai 8.



Keterangan: 10 menit = waktu kontak

Gambar 1 Skema Percobaan Optimasi

Sumber: Komala (2014)

3.5 Percobaan Sampel Air PDAM Gunung Pangilun

Dalam percobaan ini digunakan sampel air dari *outlet* filtrasi PDAM Gunung Pangilun. Prosedur yang sama dengan sebelumnya dengan memasukkan 100 ml sampel air ke dalam erlenmeyer 200 ml, kemudian tambahkan dosis kaporit optimum dan *dishaker* selama waktu kontak optimum. Setelah itu, lakukan pemeriksaan konsentrasi bakteri *E.coli* dan sisa klor pada sampel.

3.6 Pengukuran Parameter

Pengukuran parameter pada penelitian ini dilakukan menurut standar APHA [14]. Sampel air *dishaker* menggunakan Wiseshake SHO-2D. Jumlah bakteri *E.coli* diukur dengan metoda *Most Probable Number* (MPN) menggunakan *test tube* yang berisi tabung durham dan di inkubasi dalam incubator QL Model 12-140E, dimana semua alat yang digunakan disterilisasi menggunakan oven Memmert dan media ditimbang dengan neraca analitik AND 12329241. Sisa klor diukur dengan metoda iodometri oleh standar natrium thiosulfat.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Air PDAM Gunung Pangilun

Hasil analisis karakterisasi sampel air proses filtrasi PDAM Gunung Pangilun untuk parameter fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 1. Parameter yang melewati baku mutu yaitu kadmium dan timbal dengan konsentrasi 0,044 mg/l dan 0,038 mg/l. Batas baku mutu untuk konsentrasi kadmium dan timbal berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 [15] tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, yaitu 0,003 mg/l dan 0,01 mg/l. Tingginya konsentrasi logam kadmium dan timbal ini dapat berasal dari aktivitas pertanian dan perindustrian, sehingga dapat menyebabkan terakumulasinya logam di bagian hilir sungai. Dalam kegiatan pertanian, pupuk yang digunakan dapat mengandung logam berat dengan konsentrasi yang rendah. Berbagai jenis pupuk baik organik maupun anorganik seperti pupuk P, pupuk N, pupuk kandang, kapur dan kompos dapat mengandung logam berat seperti Pb [16]. Bila pupuk digunakan secara rutin, maka akan menyebabkan kandungan logam akan bertambah dan akan terakumulasi di dalam tanah. Kandungan Pb dan Cd dalam pupuk kandang, pupuk *Tithonia*, pupuk kompos dan pupuk fosfat adalah 8,5-22,81 ppm dan 0,56-1,42 ppm [17].

Hasil pengukuran sampel air untuk parameter fisika, yaitu bau dan warna dalam konsentrasi yang relatif kecil, menunjukkan bahwa kandungan bakteri patogen pada air PDAM Gunung Pangilun ada dalam jumlah yang sedikit karena sudah diolah pada unit-unit pengolahan sebelumnya. Bau, warna dan rasa dapat mengindikasikan keberadaan bahan organik yang tinggi dalam lingkungan perairan [18]. Bahan organik yang ada di dalam air dapat menunjukkan keberadaan bakteri di dalam air tersebut. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh BOD sebesar 1,2 mg/l. Hal ini menandakan bahwa jumlah bakteri dan senyawa organik di dalam sampel air dari unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun relatif kecil. Kekeruhan dan total zat padat terlarut pada sampel air PDAM Gunung Pangilun adalah sebesar 0,5 NTU dan 52 mg/l. Walaupun kekeruhan tidak memiliki dampak secara langsung pada kesehatan, tetapi kekeruhan dapat menjadi indikasi kehadiran bakteri dalam air. Pada dasarnya kekeruhan air dapat disebabkan oleh adanya zat padat yang tersuspensi baik organik maupun anorganik. Banyaknya zat padat tersuspensi ini akan mendukung perkembangbiakan bakteri, sebaliknya air yang jernih akan menghambat perkembangbiakan bakteri yang mungkin ada dalam air [19].

Tabel 1. Konsentrasi Parameter Sampel Air dari Outlet Unit Filtrasi PDAM Gunung Panglun

No	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu*
	Fisika		
1	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau
2	Warna (TCU)	0,625	15
3	Total zat padat terlarut (mg/l)	52	500
4	Kekeruhan (NTU)	0,5	5
6	Suhu (oC)	28	Suhu udara \pm 3
	Kimia		
1	Besi (mg/l)	0,266	0,3
2	Kesadahan (mg/l)	3,486	500
3	Klorida (mg/l)	9,9	250
4	Mangan (mg/l)	0,3	0,4
5	pH	7,2	6,5-8,5
6	Seng (mg/l)	0,44	3
7	Sulfat (mg/l)	77,8	250
8	Tembaga (mg/l)	0,182	2
9	Amonia (mg/l)	0,192	1,5
10	Nitrat (mg/l)	0,697	50
11	Nitrit (mg/l)	0,174	3
12	BOD (mg/l)	1,2	2**
13	COD (mg/l)	5,6	10**
14	Timbal (mg/l)	0,038	0,01
16	Kalsium (mg/l)	1,487	
17	Magnesium (mg/l)	1	
18	Kadmium (mg/l)	0,044	0,003

Sumber: Komala (2014)

Keterangan:

*) Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

**) Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

4.2 Penentuan Dosis kaporit

Dosis kaporit yang dipakai pada optimasi proses klorinasi diambil dari rentang DPC yang diperoleh. Hal ini dimaksudkan agar dosis kaporit yang digunakan tidak terlalu tinggi karena dosis yang tinggi dapat menyisihkan bakteri *E.coli* secara cepat, namun dapat menyisihkan kandungan klor yang cukup tinggi dan bersifat toksik. Dari percobaan penentuan DPC diperoleh jumlah klor segera yaitu 0,96 mg/l dan sisa klor sebesar 0,71 mg/l, dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh daya pengikat klor (DPC) sebesar 0,3 mg/l. Untuk percobaan artifisial selanjutnya digunakan dosis kaporit dengan rentang 0,1 mg/l, 0,3 mg/l dan 0,5 mg/l.

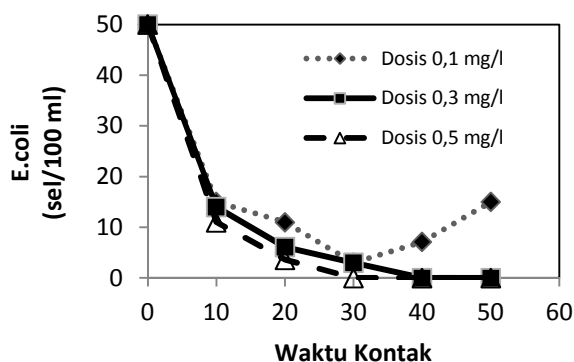
4.3 Dosis Kaporit dan Waktu Kontak Optimum

Penyisihan bakteri *E.coli* pada masing-masing dosis kaporit (0,1 mg/l, 0,3 mg/l, dan 0,5 mg/l) dan waktu kontak (10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit dan 50 menit) dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa kaporit efektif digunakan sebagai desinfektan dengan persentase penyisihan 98,37% - 100% dengan jumlah bakteri akhir 15 sel/100 ml – 0 sel/100 ml. Pada 10 menit pertama, semua dosis kaporit terjadi penurunan jumlah bakteri *E.coli* drastis. Pola penurunan yang sama pada semua dosis kaporit sampai 30 menit pertama dan terus menurun sampai 0 sel/100 ml pada dosis kaporit 0,3 mg/l dan 0,5 mg/l, kecuali pada dosis 0,1 mg/l.

Pada dosis kaporit 0,1 mg/l terjadi penurunan jumlah bakteri *E.coli* dari 1600 sel/100 ml menjadi 15 sel/100 ml pada waktu kontak 10 menit dengan efisiensi 98,37%. Setelah waktu kontak 20 menit hingga 30 menit, jumlah bakteri *E.coli* juga mengalami penurunan menjadi 11 sel/100 ml dan 3 sel/100 ml dengan efisiensi penyisihan 98,80% dan 99,67%. Setelah waktu kontak 30 menit, yaitu pada 40 menit dan 50 menit, jumlah bakteri *E.coli* kembali mengalami peningkatan jumlah sel menjadi 7,1 sel/100 ml, dan 15 sel/100 ml dengan masing-masing penyisihan sebesar 99,23%, dan 98,37%. Hal ini menunjukkan bahwa dosis kaporit pada larutan artifisial telah berkurang efektifitasnya, sehingga jumlah bakteri yang tersisa tumbuh kembali dengan memanfaatkan ko-substrat yang berasal dari Nutrient Broth. Pada waktu kontak 30-40 menit, bakteri *E.coli* berada pada fase lag, yaitu fase yang ditandai dengan peningkatan jumlah sel secara perlahan, sedangkan pada waktu 40-50 menit, bakteri *E.coli* berada pada fase log yang ditandai dengan kecepatan peningkatan pertumbuhan bakteri.

Pola inaktivasi bakteri *E.coli* pada dosis kaporit 0,3 mg/l dan 0,5 mg/l memiliki bentuk kurva yang hampir sama, jumlah bakteri bakteri *E.coli* terus mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu kontak. Untuk dosis 0,3 mg/l, efisiensi penyisihan sebesar 100% terjadi pada waktu kontak 40 menit, sedangkan pada dosis 0,5 mg/l,

efisiensi penyisihan sebesar 100% terjadi pada waktu kontak 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis kaporit yang diberikan semakin tinggi efisiensi penyisihan bakteri *E.coli* dan semakin kecil waktu kontak yang terjadi.



Gambar 2. Penyisihan Bakteri *E.coli* terhadap Waktu Kontak dengan Jumlah Bakteri Awal 920 sel/100 ml

Dari percobaan optimasi ini ada dua pilihan kondisi optimum. Pilihan pertama dosis kaporit 0,5 mg/l dengan waktu kontak 30 menit dan pilihan kedua dosis kaporit 0,3 mg/l dengan waktu kontak 40 menit. Masing-masing pilihan ini memiliki kelebihan dan kekurangannya. Pilihan pertama memerlukan waktu kontak yang lebih singkat, namun biaya untuk penyediaan kaporit sedikit lebih besar dari pilihan kedua dengan selisih dosis kaporit sebesar 0,2 mg/l. Jika dilihat dari segi biaya penyediaan energi yang diperlukan untuk pengadukan dalam proses desinfeksi, maka pilihan pertama jauh lebih murah karena memerlukan waktu kontak yang lebih pendek. Jadi, dengan pertimbangan yang ada tersebut, maka pilihan pertama jauh lebih baik dari pilihan kedua. Kondisi optimum dosis kaporit 0,5 mg/l dengan waktu kontak 30 menit ini digunakan percobaan pada sampel air PDAM Gunung Pangilun.

Nilai yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian Ismail [20] pada Instalasi Pengolahan Air Bersih RSUD. Dr. Saiful Anwar Malang diperoleh dosis klor efektif sebesar 0,006 gr/l atau 6 mg/l untuk menyisihkan bakteri *E.coli* dari 5 cfu/ml menjadi 3 cfu/ml dengan waktu kontak 60 menit. Hal ini disebabkan karena jumlah bakteri *E.coli* pada penelitian tersebut memiliki jumlah yang lebih besar, yaitu 5 cfu/ml yang setara dengan $2,5 \times 10^8$ sel/100 ml, sehingga membutuhkan dosis desinfektan yang lebih besar.

4.4 Sisa Klor

Berdasarkan percobaan desinfeksi artifisial pada kondisi optimum, yaitu dosis 0,5 mg/l dengan waktu kontak 30 menit diperoleh sisa klor sebesar 0,2 ppm. Bila dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum dan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 [15], dosis kaporit yang dibubuhkan menghasilkan sisa klor yang masih berada dalam rentang yang diperbolehkan, yaitu 0,2-0,5 mg/l. Sisa klor ini diharapkan masih dapat membunuh mikroorganisme yang ada dalam pipa distribusi.

4.5 Percobaan pada Sampel Air PDAM Gunung Pangilun

Dari percobaan menggunakan sampel air PDAM Gunung Pangilun pada kondisi dosis kaporit dan waktu kontak optimum diperoleh penyisihan bakteri *E.coli* sebesar 99,61%, sedangkan pada percobaan artifisial efisiensi penyisihan terjadi secara sempurna yaitu sebesar 100%. Perbedaan efisiensi penyisihan bakteri *E.coli* ini disebabkan oleh parameter fisika dan kimia yang terdapat pada sampel air, yang dapat menurunkan efektifitas desinfektan kaporit. Adanya konsentrasi dari senyawa lain yang terdapat di dalam sampel akan mengalihkan sebagian fungsi dari kaporit yang awalnya hanya untuk menyisihkan bakteri patogen, sebagian asam hipoklorit yang berasal dari kaporit akan mengoksidasi senyawa-senyawa lain pada sampel, seperti kekeruhan, total zat padat terlarut, warna, ammonia, nitrat, mangan dan besi. Semakin besar dan banyak kandungan senyawa-senyawa tersebut dalam air, maka semakin lama waktu kontak dan dosis desinfektan yang dibutuhkan dalam proses desinfeksi [7].

Tidak adanya sisa klor dalam percobaan desinfeksi pada sampel air sumur menandakan klor telah bereaksi seluruhnya dengan senyawa lain yang terkandung didalam sampel. Jika dibandingkan dengan dosis kaporit yang digunakan oleh PDAM Gunung Pangilun, yaitu 1,5 mg/l dosis kaporit yang digunakan pada percobaan optimasi memiliki konsentrasi yang lebih rendah. Perbedaan ini disebabkan karena pada percobaan artifisial hanya terkandung bakteri *E.coli* tanpa adanya parameter fisika dan kimia lainnya, sehingga dosis kaporit sebesar 0,5 mg/l dapat berfungsi langsung sebagai desinfektan. Sementara itu, pada sampel air dari outlet filtrasi PDAM

Gunung Pangilun terdapat parameter fisika (kekeruhan dan total zat padat terlarut) dan kimia (besi, mangan, amonia dan nitrat), sehingga dosis kaporit yang ditambahkan akan bereaksi terlebih dahulu dengan parameter fisika dan kimia sebelum berfungsi sebagai desinfektan. Hal ini menyebabkan dosis kaporit yang diberikan oleh pihak PDAM pada sampel air Gunung Pangilun memiliki dosis yang lebih besar dari yang diperoleh pada penelitian ini. Jadi, parameter fisika dan kimia yang terkandung di dalam air sangat mempengaruhi besarnya dosis kaporit yang harus diberikan.

Pada percobaan dengan menggunakan dosis kaporit 1,5 mg/l pada sampel air dari *outlet* unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun diperoleh sisa klor sebesar 0,4 mg/l dan bakteri *E.coli* sebesar 0 sel/100 ml. Hal ini menunjukkan bahwa untuk dapat menyisihkan bakteri *E.coli* pada sampel air PDAM diperlukan dosis yang lebih besar dari percobaan artifisial agar sisa klor sesuai dengan yang diharapkan. Artinya, untuk menghasilkan efisiensi penyisihan bakteri *E.coli* 100% diperlukan penambahan dosis kaporit hingga 1,5 mg/l untuk menghasilkan *E.coli* menjadi 0 sel/100 ml.

4.6 Laju Kematian, Koefisien Letal spesifik dan Koefisien Pelarutan pada Proses Klorinasi

Laju kematian (k), koefisien letal spesifik (Λ_{cw}) dan koefisien pelarutan (n) pada percobaan artifisial dihitung dengan menggunakan persamaan (2), (3) dan (4). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai k , Λ_{cw} dan Konstanta Pelarutan n pada Percobaan disinfeksi

C_{kaporit} (mg/l)	k (1/menit)	Λ_{cw} (l/mg.min)	n
0,1	0,169	1,694	1
0,3	0,180	0,600	1
0,5	0,277	0,554	1

Dengan penambahan dosis kaporit 0,1 mg/l sampai 0,5 mg/l diperoleh laju kematian 0,169-0,277 /menit. Semakin tinggi dosis kaporit semakin tinggi pula laju kematian bakteri. Kaporit setelah larut dalam air akan terurai menjadi HOCl, dan OCl⁻ yaitu senyawa-senyawa sisa klor aktif yang bersifat toksin (racun bagi kuman). Daya bunuh HOCl lebih kuat daripada OCl⁻ yaitu 40-80 kalinya [21]. Dibandingkan dengan penggunaan desinfektan UV-ZnO dengan dosis 2 g/l [22] didapatkan bahwa, hampir semua bakteri sebanyak 10⁸ CFU/ml inaktif dalam waktu 40 menit. Diperoleh nilai k untuk bakteri *Escherichia coli* adalah 0,45/menit dan 0,22/menit untuk bakteri *Lactobacillus heveticus*. Sementara itu, dengan menggunakan UV-TiO₂ sebesar 2 g/l [22] diperoleh nilai k sebesar 0,37/menit dan 0,18 /menit untuk bakteri *Escherichia coli* dan bakteri *Lactobacillus heveticus*. Meskipun nilai konstanta kematian k dalam penelitian tersebut lebih besar dari desinfektan kaporit yang digunakan dalam penelitian ini, namun waktu kontak menggunakan kaporit lebih rendah yaitu 30 menit. Hal ini menunjukkan desinfektan kaporit memiliki efektifitas yang cukup tinggi pada waktu kontak yang lebih pendek.

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai Λ_{cw} (koefisien letal spesifik) untuk masing-masing dosis kaporit 0,1 mg/l, 0,3 mg/l dan 0,5 mg/l berturut-turut adalah 1,694 l/mg.min, 0,6 l/mg.min dan 0,554 l/mg.min. Nilai Λ_{cw} tersebut tidak jauh berbeda dengan nilai yang diperoleh pada penelitian disinfeksi menggunakan sodium hipoklorit untuk menyisihkan bakteri *E.coli* yaitu sebesar 0,72 l/mg.min [23]. Nilai koefisien pelarutan (n) pada percobaan ini memiliki nilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa baik konsentrasi kaporit maupun waktu kontak sama-sama berperan dominan pada proses disinfeksi.

4.7 Nilai CT

Untuk dapat mengetahui pengaruh nilai CT terhadap penyisihan bakteri, maka diperlukan korelasinya terhadap nilai log (N_t/N_0). Nilai log (N_t/N_0) pada masing-masing dosis kaporit dan waktu kontak dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai log (N_t/N_0) yang diperoleh berkisar antara 1,8-log – 2,5-log. Nilai log (N_t/N_0) tertinggi terjadi pada waktu kontak 30 menit untuk dosis kaporit 0,1 mg/l dan 0,3 mg/l, yaitu 2,4-log dan 2,5-log, serta pada waktu kontak 20 menit untuk dosis kaporit 0,5 mg/l, yaitu 2,4-log. Nilai log (N_t/N_0) pada dosis kaporit 0,3 mg/l dan 0,5 mg/l terus meningkat seiring bertambahnya dosis kaporit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis kaporit yang diberikan dalam proses disinfeksi, maka waktu kontak yang diperlukan akan semakin pendek. Nilai CT terus meningkat dengan bertambahnya waktu kontak dan dosis kaporit. Nilai CT tertinggi terjadi pada dosis kaporit 0,5 mg/l dengan waktu kontak 50 menit, yaitu 25 mg.minit/l.

Korich [24] mengungkapkan nilai log removal 1-log untuk menyisihkan *Cryptosporidium* dengan nilai CT 78 mg.minit/l, dengan dosis desinfektan *chlorine dioxide* 1,3 mg/l dan waktu kontak 60 menit. Nilai log removal untuk 1-log pada penelitian tersebut [24] terjadi pada waktu kontak yang lebih lama bila dibandingkan dengan hasil percobaan artifisial penelitian ini yaitu log removal 1-log pada waktu kontak kurang dari 10 menit. Begitu

pula dengan nilai CT yang diperoleh jauh lebih besar bila dibandingkan dengan percobaan artifisial pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan *Cryptosporidium* bersifat lebih resisten dari pada bakteri *E.coli* pada proses desinfeksi, sehingga membutuhkan dosis dan waktu kontak yang lebih besar untuk menysihikan *Cryptosporidium* (kelompok *ooocyst*).

Tabel 3. Nilai CT Proses Desinfeksi

C (mg/l)	t (menit)	N_t (sel/100 ml)	N_t/N_0	$-\text{Log}(N_t/N_0)$	CT (mg.menit/l)
0.1	0	920	1.0000	0.0	0
0.1	10	15	0.0163	1.8	1
0.1	20	11	0.0120	1.9	2
0.1	30	3.6	0.0039	2.4	3
0.1	40	7.1	0.0077	2.1	4
0.1	50	15	0.0163	1.8	5
0.3	0	920	1.0000	0.0	0
0.3	10	14	0.0152	1.8	3
0.3	20	6.1	0.0066	2.2	6
0.3	30	3	0.0033	2.5	9
0.3	40	0	0.0000	-	12
0.3	50	0	0.0000	-	15
0.5	0	920	1.0000	0.0	0
0.5	10	11	0.0120	1.9	5
0.5	20	3.6	0.0039	2.4	10
0.5	30	0	0.0000	-	15
0.5	40	0	0.0000	-	20
0.5	50	0	0.0000	-	25

4.8 Laju Pertumbuhan Bakteri *E.coli*

Dari percobaan optimasi pada dosis kaporit 0,1 mg/l s selama 30 menit pertama bakteri mengalami kematian, setelah itu terjadi peningkatan jumlah bakteri *E.coli* kembali pada waktu kontak 30-40 menit (fase lag) dan 40-50 menit (fase log) dengan jumlah bakteri *E.coli* pada masing-masing waktu kontak tersebut adalah 7,1 sel/100 ml dan 15 sel/100 ml. Laju pertumbuhan bakteri *E.coli* pada menit 40 dan 50 dapat dihitung menggunakan persamaan Monod (persamaan 8) yang ditampilkan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai μ (laju pertumbuhan) yang diperoleh adalah sebesar 0,071/menit. Nilai laju pertumbuhan menunjukkan perubahan pada jumlah sel per unit waktu. Laju pertumbuhan bakteri *E.coli* pada media *Broth* berdasarkan penelitian Fujikawa [25], yaitu sebesar 2,1/jam atau 0,035/menit dengan jumlah awal (N_0) bakteri *E.coli* $10^{2.1}$ cfu/ml dan jumlah bakteri akhir (N_t) $10^{8.8}$ cfu/ml. Perbedaan laju pertumbuhan ini disebabkan karena pada penelitian ini jumlah bakteri *E.coli* yang tertinggal setelah proses desinfeksi ada dalam jumlah yang kecil dengan kondisi bahan makanan yang berasal dari *Nutrient Broth* dan bakteri-bakteri yang telah mati karena proses desinfeksi, sehingga laju pertumbuhan bakteri dapat berlangsung dengan cepat dibandingkan dengan penelitian Fujikawa [25].

Tabel 4. Laju Pertumbuhan Bakteri *E.coli*

Waktu (menit)	N_t (sel/100 ml)	N_t/N_0	$\text{Ln}(N_t/N_0)$	μ (1/menit)
30	3.6	1	0	0,071
40	7.1	1.972	0.679	
50	15	4.167	1.427	

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Sampel air dari *outlet* unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun memiliki jumlah bakteri sebesar 920 sel/100 ml yang tidak memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, yaitu 0 sel/100 ml;
2. Kondisi optimum yang diperoleh pada percobaan artifisial adalah 0,5 mg/l dosis kaporit dan waktu kontak 30 menit dengan penyisihan bakteri *E.coli* sebesar 100% dan sisa klor sebesar 0,2 mg/l, sedangkan efisiensi penyisihan bakteri *E.coli* pada sampel air PDAM Gunung Pangilun adalah 99,61% dengan sisa klor 0 mg/l;
3. Laju kematian bakteri *E.coli* pada percobaan artifisial yaitu 0,277/menit, sedangkan laju pertumbuhan bakteri *E.coli* adalah 0,071/menit; Koefisien letal spesifik bakteri *E.coli* pada percobaan artifisial yaitu 0,554 l/mg.menit.
4. Koefisien pelarutan memiliki nilai sama dengan satu yang menandakan bahwa dosis kaporit dan waktu kontak sama-sama memiliki pengaruh dalam proses desinfeksi;
5. Laju kematian (k) dipengaruhi oleh waktu kontak, sedangkan koefisien letal spesifik (Λ_{cw}) dipengaruhi oleh dosis desinfektan dan waktu kontak.

Nomenklatur

k	konstanta laju kematian (t^{-1})
N_t	jumlah mikroba pada waktu ke- t
N_0	jumlah mikroba pada waktu ke-0
C	konsentrasi desinfektan ($w.L^{-3}$)
T	waktu kontak (t^{-1})
X	konsentrasi biomassa ($w.L^{-3}$)
t	pertambahan waktu (t)
Λ	Koefisien letal spesifik ($w^{-1}.t^{-1}$)
μ	laju pertumbuhan spesifik (t^{-1})

Daftar Pustaka

- [1]. Schaechter, "M. Encyclopedia of Microbiology" Volume 2, New York: Academic Press.1992.
- [2]. Feliatra, "Sebaran Bakteri *E.coli* di Perairan Muara Sungai Bantan Tengah Bengkalis Riau. Pekanbaru": Laboratorium Mikrobiologi Laut, Faperika Universitas Riau. 2002.
- [3]. Asano, T., Burton, F., Leverenz, H. dan Tsuchihashi, R. 2007. Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, New York: McGraw Hill company. Inc.
- [4]. Said, I. N., dan Wahyono, D.H., "Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Teknik Biofilter Aerob-anaerob". Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan. Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan-BPPT, 1999.
- [5]. Rice, G. E., Teuschler, L. K., Bull, R. J., Simmons, J. E., and Feder, P. I. "Evaluating the similarity of complex drinkingwater disinfection by-product mixtures:Overview of the issues". J. Toxicol. Environ. Health Part A 72:429–436. 2009.
- [6]. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- [7]. Sururi, R. M., Rachmawati, S.Dj., dan Sholichah, M., "Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon sebagai Desinfektan pada Sampel Air dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung, 2008.
- [8]. Sutrisno, "Teknologi Penyediaan Air Bersih", Jakarta: Rineka Cipta, 2002.
- [9]. Ditjen. PPM & PLP, "Pedoman Upaya Penyehatan Air Bagi Petugas Sanitasi Puskesmas", Jakarta: Depkes RI, 1998.
- [10]. Lee, C.C. dan Lin, S.D., "Handbook of Environmental Engineering Calculations", The McGraw-Hill Companies, Inc. 2007.
- [11]. Metcalf dan Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse". McGraw Hill company. Inc. Singapura, 1991.

- [12]. Komala, P.S., dan Yanarosanti, A., Inaktivasi Bakteri *E.coli* Air Sumur Menggunakan Disinfektan Kaporit, Jurnal Dampak 10 (1). 2014.
- [13]. Sururi, R.M., Rachmawati S.Dj., dan Solihah, M. Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon Sebagai Disinfektan pada Sampel Air Dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung, Lampung: Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II 2008 Universitas Lampung 2008..
- [14]. American Public Health Association, “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, A.D. Eaton, L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, (Eds.), 20th ed. Washington D.C., 1998.
- [15]. Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010, “*Persyaratan Kualitas Air Minum*”.
- [16]. Kurnia U, Suganda H, Saraswati R, dan Nurjaya, “*Teknologi pengendalian pencemaran lahan sawah. Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*”, Puslitbangtanak, hlm 251-285, Bogor, 2004.
- [17]. Khatimah, H., “*Perubahan Konsentrasi Timbal dan Kadmium Akibat Perlakuan Pupuk Organik dalam Sistem Budi daya Sayuran Organik*”, Tugas Akhir Program Studi Kimia Institut pertanian Bogor, 2006.
- [18]. Samorn, M., Sales, C.L.dan Phunsiri, S. “*Solid Waste Recycling, Disposal and Management in Bangkok*”. J. Environ. Res. Vol. 28, hal 106-112, 2002.
- [19]. Slamet, J. S., “*Kesehatan Lingkungan*”, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press, 2002.
- [20]. Ismail, M., “*Efektivitas Proses Chlorinasi terhadap Penurunan Bakteri E.coli dan Residu Chlor pada Instalasi Pengolahan Air Bersih RSU. Dr. Saiful Anwar Malang*”. Tugas Akhir Program Studi Biologi Universitas Islam Negeri Malang, 2009.
- [21]. Rohim, M., “*Analisis Penerapan Metode Kaporitisasi sederhana terhadap Kualitas Bakteriologis Air PMA*”. Tugas Akhir Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro, 2006.
- [22]. Liu, H-L., dan Yang, T. C-K., “*Photocatalytic inactivation of Escherichiacoli and Lactobacillus helveticus by ZnO and TiO₂ Activated with Ultraviolet Light*”. Department of Chemical Engineering, National Taipei University of Technology Taiwan, 2002.
- [23]. Donnermair, M. M., dan Blatchley, E. R., “*Disinfection efficacy of organic chloramines*”. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA, 2003.
- [24]. Korich, D.G., Mead, J.R., Madore, M.S., Sinclair, N.A. dan Sterling, C.R., “*Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on Cryptosporidium parvum Oocyst viability*”, Appl. Environ. Microbiol. Vol. 56, hal 1423-1428, 1990.
- [25]. Fujikawa, H., Kai, A., dan Morozumi S., “*A new Logistic Model for E.coli Growth at Constant and Dynamic Temperatures*”, Department of Microbiology, Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health, 3-24-1, Hyukunin-cho, Shinjuku, Tokyo 169-0073, Japan, 2004.