



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINERGI TEKNOLOGI OZON DAN SINAR UV DALAM
PENYEDIAAN AIR MINUM SEBAGAI TEROBOSAN DALAM
PENCEGAHAN PENYAKIT INFEKSI DIARE DI INDONESIA**

SKRIPSI

RIA WULANSARIE

0806316083

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINERGI TEKNOLOGI OZON DAN SINAR UV DALAM
PENYEDIAAN AIR MINUM SEBAGAI TEROBOSAN DALAM
PENCEGAHAN PENYAKIT INFEKSI DIARE DI INDONESIA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

RIA WULANSARIE

0806316083

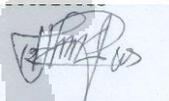
**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ria Wulansarie

NPM : 0806316083

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ria Wulansarie

NPM : 0806316083

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Sinergi Teknologi Ozon dan sinar UV dalam Penyediaan Air Minum sebagai Terobosan dalam Pencegahan Penyakit Infeksi Diare di Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA

Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT.

Penguji : Ir. Yuliusman, M. Eng.

Penguji : Drh. Usamah Afiff, MSc.



()
()
()
()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Shalawat berangkaikan salam tak lupa penulis hadiahkan kepada Rasulullah SAW yang selalu menjadi suri tauladan bagi hidup penulis. Penulisan skripsi dengan judul **“Sinergi Teknologi Ozon dan sinar UV dalam Penyediaan Air Minum sebagai Terobosan dalam Pencegahan Penyakit Infeksi Diare di Indonesia”** dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

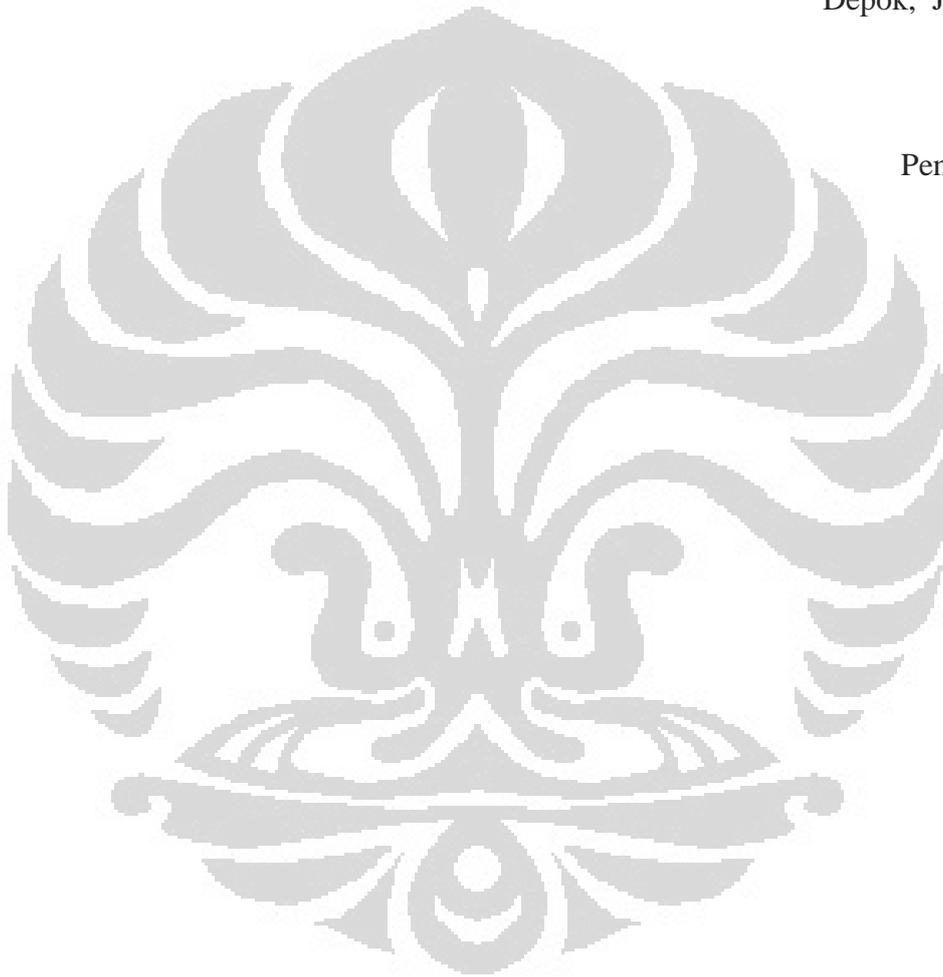
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA sebagai pembimbing skripsi yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI;
4. Bapak Prof. Ir. Sutrasno K, M.Sc. PhD selaku pembimbing akademis;
5. Seluruh anggota keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan doa terutama kedua orang tua saya;
6. Pratiwi selaku laboran di Laboratorium Intensifikasi Proses, Departemen Teknik Kimia, FTUI yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penelitian ini;
7. Sri Diah Handayani selaku laboran di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, FTUI yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penelitian ini;
8. Indika Sunarko yang telah memberikan dukungan dan informasi terkait penelitian;
9. Merry D, Ika Wahyuni, Veny Luvita, Wiwie Chaeruni, Christine, Fatimatuazzahroh, Migel Aldila, Indriani Mukti, dan Widioseno selaku rekan penelitian satu bimbingan serta banyak memberi dukungan dan informasi terkait;

10. Sri Fahmiati, Novri Yeni, Khofiful Walidani, Ade Sri Rahayu, Nadhila AZ yang memberi dukungan dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari betul bahwa masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran yang konstruktif agar dapat menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat bagi orang banyak dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ria Wulansarie
NPM : 0806316083
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusif Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

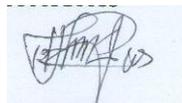
**SINERGI TEKNOLOGI OZON DAN SINAR UV DALAM
PENYEDIAAN AIR MINUM SEBAGAI TEROBOSAN DALAM
PENCEGAHAN PENYAKIT INFEKSI DIARE DI INDONESIA**

Beserta persangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 4 Juli 2012

Yang menyatakan



(Ria Wulansarie)

ABSTRAK

Nama : Ria Wulansarie
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Sinergi Teknologi Ozon dan sinar UV dalam Penyediaan Air Minum sebagai Terobosan dalam Pencegahan Penyakit Infeksi Diare di Indonesia

Bakteri *Escherichia coli* yang banyak mengakibatkan pencemaran air minum di Indonesia didisinfeksi menggunakan teknologi ozon dan sinar UV dalam penelitian ini, khususnya untuk mengatasi masalah penyediaan air minum. Penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu disinfeksi, ada atau tidaknya sinar UV pada penelitian, dan laju alir keluaran pompa. Semua hasilnya, yaitu yang berhubungan dengan jumlah koloni *E. coli* dianalisis dengan menggunakan metode TPC (*Total Plate Count*).

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah bakteri setelah proses disinfeksi menunjukkan penurunan yang cukup signifikan baik menggunakan ozon saja, sinar UV saja, ataupun keduanya, terutama pada waktu disinfeksi selama 3 menit. Pada sistem sirkulasi, teknologi yang paling optimal untuk proses disinfeksi adalah sinergi antara teknologi ozon dan sinar UV terbukti dengan jumlah bakteri sama dengan 0 setelah proses disinfeksi selama 30 menit pada sampel air keran. Sedangkan untuk sistem kontinyu teknologi yang paling efektif untuk proses disinfeksi adalah sinar UV terbukti dengan jumlah bakteri sama dengan 0 setelah proses disinfeksi dengan laju alir 1,5 LPM pada sampel air minum dalam kemasan (AMDK).

Kata kunci : Disinfeksi, Ozon, Sinar UV, *Escherichia coli*, Diare

ABSTRACT

Name : Ria Wulansarie
Study Program : Chemical Engineering
Title : Sinergy of Ozone Technology and UV light in the drinking water supply as a Breakthrough in Prevention of Infectious Diarrhea Diseases in Indonesia

Escherichia coli bacteria are a lot of lead contamination of drinking water in Indonesia disinfected using ozone technology and UV light in this experiment, particularly to address the problem of water supply. The experiment was carried out by the variation of time disinfection, presence or absence of UV light on the research, and the pump output flow rate. All the results, which are related to the number of colonies of E. coli analyzed by using the method of TPC (Total Plate Count).

Based on the results of the experiment, the number of bacteria after disinfection show a significant decline either using ozone alone, UV alone, or both, especially at the time of disinfection for 3 minutes. The circulatory system, the most optimal technology for the disinfection process is a synergy between ozone technology and UV light proven by the number of bacteria equal to 0 after the disinfection process for 30 minutes in tap water samples. As for the continuous system the most effective technology for UV disinfection is proven by the number of bacteria equal to 0 after disinfection with a flow rate of 1.5 LPM on samples of bottled water (bottled water).

Keywords: Disinfection, Ozone, UV Rays, Escherichia coli, Diarrhea

DAFTAR ISI

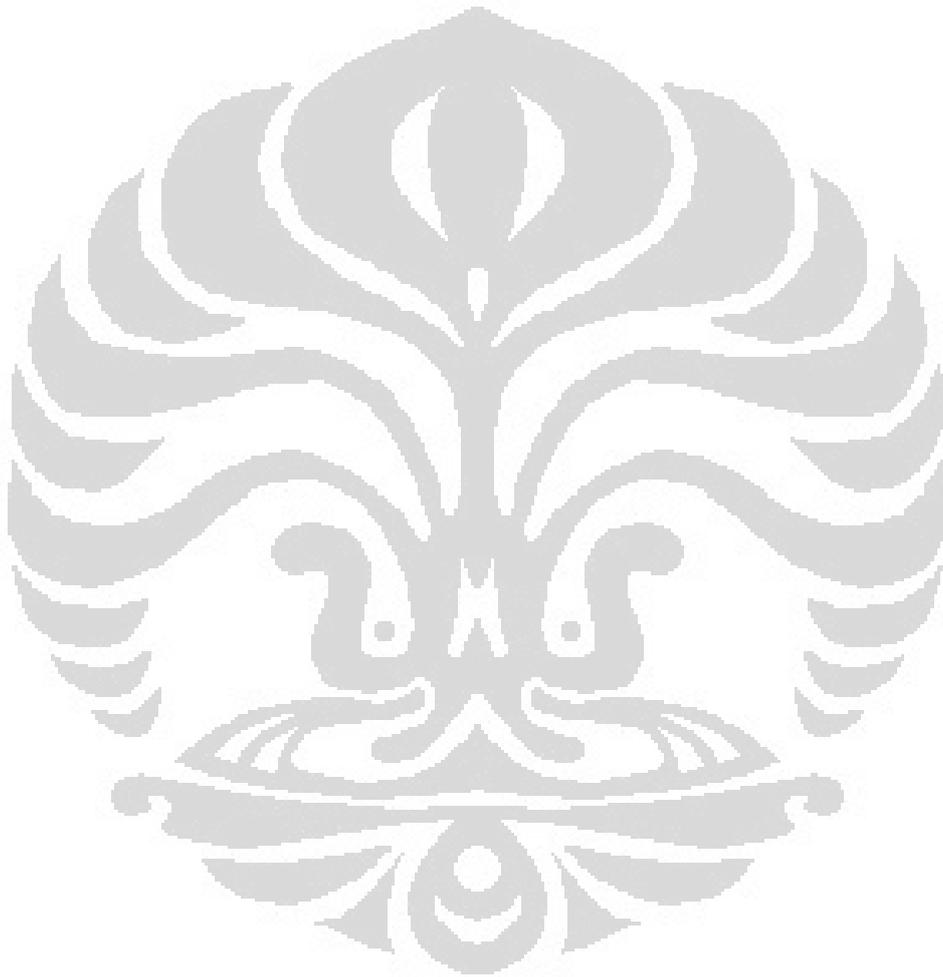
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penyakit Diare dan Penyebabnya.....	5
2.2 Disinfeksi	7
2.3 Ozon untuk Disinfeksi	8
2.3.1 Pembentukan Ozon	10
2.3.2 Mekanisme Disinfeksi Menggunakan Ozon	11
2.4 Radiasi Sinar Ultraviolet (UV)	13
2.5 Metode TPC (<i>Total Plate Count</i>).....	15
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Lokasi Penelitian.....	19

3.3 Variabel Penelitian	19
3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	20
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.5.1 Kultur Bakteri <i>Escherichia coli</i>	22
3.5.2 Preparasi Bahan-bahan yang Dibutuhkan	22
3.5.3 Proses Sterilisasi Botol Sampel	23
3.5.4 Pengukuran Laju Alir Ozonator.....	23
3.5.5 Pengukuran Produktivitas Ozonator	23
3.5.6 Proses Disinfeksi.....	24
3.5.6.1 Proses Disinfeksi dalam Aliran Sirkulasi.....	25
3.5.6.2 Proses Disinfeksi dalam Aliran Kontinyu 1-Lewatan	31
3.5.6 Uji Analisis Sampel	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengukuran Produk Ozonator	37
4.2 Proses Disinfeksi.....	37
4.2.1 Proses Disinfeksi pada Sampel AMDK	38
4.2.2 Proses Disinfeksi pada Sampel Air Keran	42
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	6
Gambar 2.2. Struktur tubuh <i>Escherichia coli</i>	6
Gambar 2.3. Konsentrasi <i>Escherichia coli</i> di sepanjang sungai Ciliwung-Banjir Kanal Barat	7
Gambar 2.4. Konfigurasi korona pembentuk ozon	10
Gambar 2.5. Efek ozon pada bakteri.....	11
Gambar 2.6. Spektrum elektromagnetik	13
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian untuk aliran sirkulasi.....	17
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian untuk aliran kontinyu 1-lewatan	18
Gambar 3.3. Rangkaian alat sistem proses disinfeksi.....	24
Gambar 3.4. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel AMDK pada proses sirkulasi.....	26
Gambar 3.5. Skema percobaan disinfeksi dengan sinar UV dan sampel AMDK pada proses sirkulasi	27
Gambar 3.6. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel AMDK pada proses sirkulasi	28
Gambar 3.7. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel air keran pada proses sirkulasi.....	29
Gambar 3.8. Skema percobaan disinfeksi dengan sinar UV dan sampel air keran pada proses sirkulasi	30
Gambar 3.9. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel air keran pada proses sirkulasi	31
Gambar 3.10. Skema percobaan disinfeksi dengan lampu UV dan sampel AMDK pada sistem kontinyu.....	32
Gambar 3.11. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel air keran pada sistem kontinyu	33
Gambar 3.12. Skema percobaan disinfeksi dengan lampu UV dan sampel air keran pada sistem kontinyu.....	34

Gambar 3.13. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel air keran pada sistem kontinyu..... 35

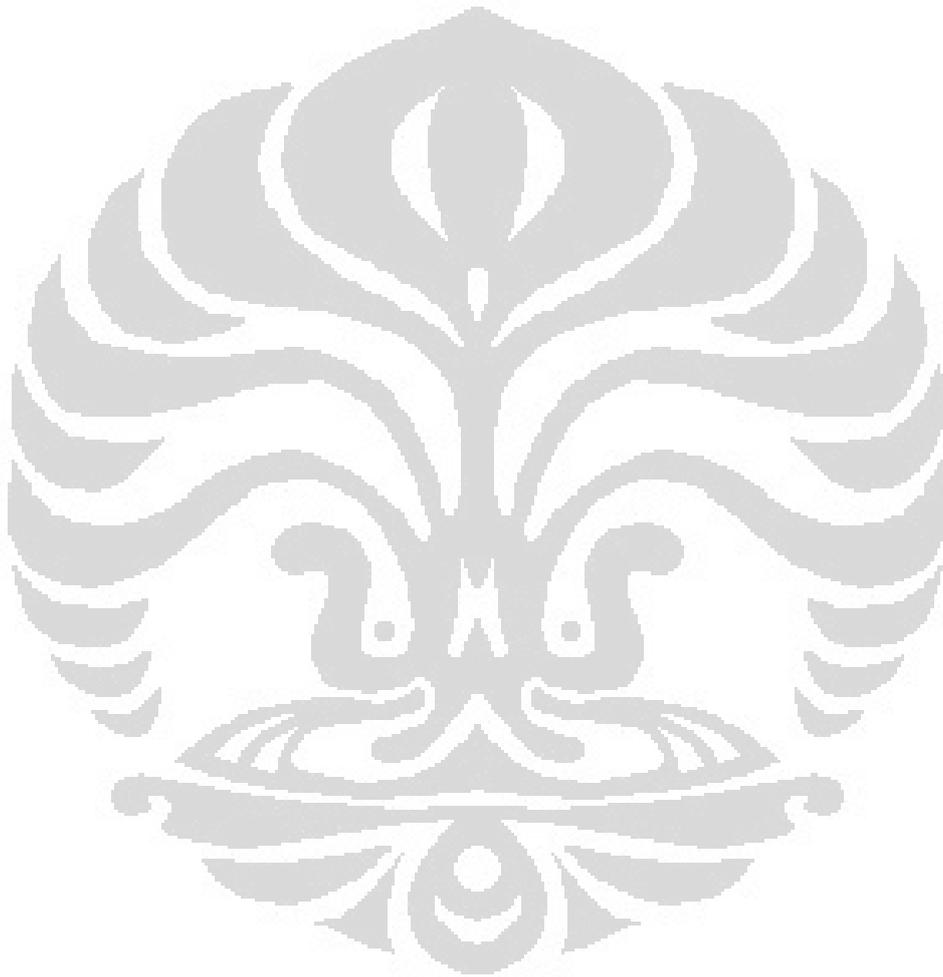


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelebihan dan kekurangan ozon sebagai disinfektan	12
Tabel 2.2. Kelebihan dan kekurangan sinar UV sebagai disinfektan	14
Tabel 3.1. Daftar bahan yang digunakan dalam penelitian.....	20
Tabel 3.2. Daftar alat yang digunakan dalam penelitian	20
Tabel 4.1. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon pada aliran sirkulasi	39
Tabel 4.2. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan sinar UV pada aliran sirkulasi	40
Tabel 4.3. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi.....	41
Tabel 4.4. Data hasil disinfeksi dengan sinar UV dalam aliran kontinyu 1-lewatan.	42
Tabel 4.5. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan ozon pada aliran sirkulasi	43
Tabel 4.6. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan sinar UV pada aliran sirkulasi	44
Tabel 4.7. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi	45
Tabel 4.8. Data hasil disinfeksi pada aliran kontinyu 1-lewatan dan laju alir 1,5 LPM	46
Tabel 4.9. Data hasil disinfeksi dengan ozon dan sinar UV pada aliran kontinyu 1-lewatan	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran kadar ozon dengan metode iodometri	52
Lampiran 2. Data jumlah bakteri hasil proses disinfeksi	54
Lampiran 3. Data Penelitian.....	58
Lampiran 4. Foto Bakteri pada Penelitian	61



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penyakit infeksi diare sudah mewabah hampir seluruh wilayah di Indonesia terutama sejak 1970-an. Kejadian penyakit diare di Indonesia ini mengalami peningkatan dari tahun ke tahun bahkan pada tahun 2008 dinyatakan sebagai kejadian luar biasa yang terjadi di Papua. Kasus diare ini masih menghantui Bangsa Indonesia hingga tahun 2011, buktinya di beberapa tempat masih ditemukan kasus diare, misalnya di daerah Lebak, Banten, jumlah penderita penyakit diare pada bulan februari 2011 ini mencapai 200 orang (Metrotvnews.com, 2011). Adanya kasus diare yang menimpa Indonesia tentunya akan menguras anggaran devisa negara. Selain itu, penyakit diare juga menyebabkan produktivitas dan kualitas hidup masyarakat Indonesia menjadi berkurang. Penanganan terhadap kasus diare ini harus segera dilakukan agar diare tidak menjadi wabah yang mengerikan bagi Bangsa Indonesia.

Salah satu penyebab penyakit diare yang utama adalah karena air minum yang tercemar oleh bakteri *Escherichia coli*. Bakteri ini merupakan salah satu jenis spesies utama bakteri gram negatif yang dapat menyebabkan berbagai penyakit pencernaan manusia seperti diare dan muntaber. Air minum yang mengandung bakteri ini tentu sangat berbahaya bagi kesehatan manusia sehingga perlu suatu teknologi untuk mendisinfeksi air yang tercemar tersebut.

Penelitian-penelitian terus dikembangkan untuk mendisinfeksi air yang mengandung bakteri. Berdasarkan hasil pengujian di lapangan, ozon dapat digunakan dalam proses inaktivasi bakteri pencemar air . Ozon dapat berfungsi sebagai disinfektan terhadap patogen, mereduksi rasa dan bau serta kemampuan mengoksidasi senyawa (Suslow, 2004). Selain teknologi ozon, pada proses disinfeksi bakteri juga dapat dilakukan dengan menggunakan sinar UV. Ozon, sinar UV, mikrofiltrasi efektif untuk menghilangkan bakteri *E. coli* dan semua coliform (Graham, 2005). Teknologi ozon dan sinar UV dapat mendisinfeksi air tambak udang yang mengandung bakteri *Salmonella typhimurium* secara

signifikan (Halim, 2006). Selain itu, kombinasi teknologi ozon dan sinar UV dapat digunakan untuk inaktivasi spora *Bacillus subtilis* (Yeon Jung Jung, 2007).

Pada penelitian ini, teknologi ozon dan sinar UV akan diaplikasikan untuk proses disinfeksi air sampel yang mengandung bakteri *E. coli*, sebagai air baku sintetis yang dapat digunakan untuk penyediaan air bersih dan atau air minum. Sinar UV yang digunakan pada penelitian ini adalah UV-C, dengan panjang gelombang 254 nm, sebagai germisida yang efektif dalam membunuh mikroorganisme. Sampel air yang digunakan pada penelitian ini yaitu air minum dalam kemasan (AMDK) bermerk "Aqua" dan air keran. Penelitian dilakukan pada variasi laju alir keluaran pompa dan ada atau tidaknya aplikasi sinar UV dalam penelitian. Pengamatan dilakukan pada jumlah bakteri *E. coli* yang terdapat dalam air sampel, yaitu sebelum dan sesudah proses disinfeksi tersebut. Efektivitas proses disinfeksi, dengan menggunakan daya 15 Watt, dianalisis menggunakan metode TPC (*Total Plate Count*).

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah sampel air yang telah didisinfeksi dengan teknologi ozon dan sinar UV, yang diharapkan bebas dari bakteri dan mikroba lainnya, terutama *E. coli*. Air konsumsi yang diperoleh dari proses ini diharapkan dapat menjadi salah satu produk dari metodologi untuk mengatasi kasus diare di Indonesia sehingga dapat menghemat devisa negara dan meningkatkan produktivitas dan kualitas hidup masyarakat Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Pekerjaan utama dalam penelitian ini adalah aplikasi teknologi ozon dan atau sinar UV dalam proses disinfeksi sampel air yang tercemar oleh bakteri *Escherichia coli*. Pada penelitian ini, akan diamati seberapa besar tingkat efektivitas kedua teknologi disinfeksi tersebut dalam menginaktivasi bakteri *E. coli* yang terdapat dalam sampel air.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem proses disinfeksi air yang mengandung bakteri *Escherichia coli* untuk memperoleh produk air bersih dan atau air minum.

2. Mendapatkan persen degradasi bakteri yang terdapat dalam air baku sintesis.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Sinar UV yang digunakan adalah sinar UV-C dengan panjang gelombang 254 nm.
2. Ozon yang digunakan berasal dari ozonator dengan merk AOSN, tipe BL-2000, dan buatan Hong Kong.
3. Sampel yang digunakan sebagai air baku sintetis adalah air minum dalam kemasan (AMDK) dan air keran.
4. Filtrasi yang digunakan adalah mikrofiltrasi.
5. Bakteri yang digunakan adalah *Escherichia coli reference number ATCC 9637*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi tiga bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, serta sistematika penulisan seminar ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian yang meliputi mengenai penyakit diare di Indonesia dan penyebabnya, penjabaran tentang disinfeksi, serta penjabaran tentang ozon dan radiasi sinar UV.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

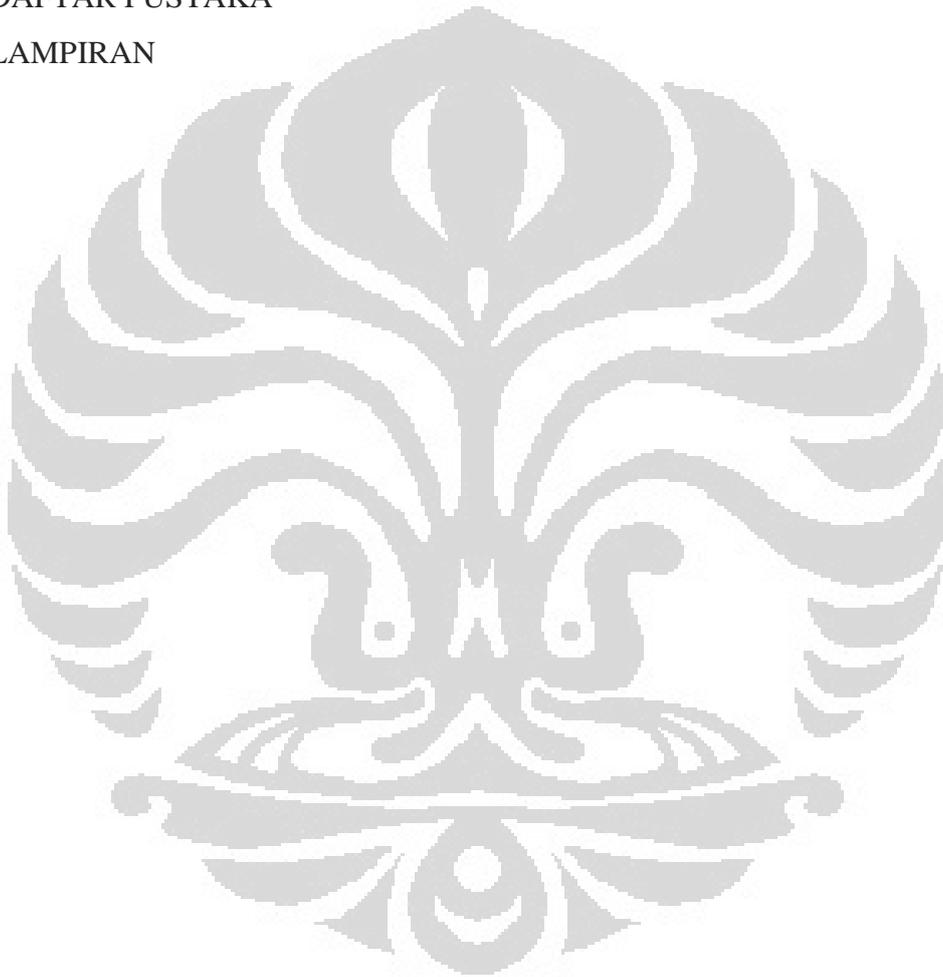
Berisi hasil dari penelitian ini dan pembahasan dari hasil penelitian tersebut.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang dapat dari penelitian ini dan saran agar penelitian ini bisa diperbaiki untuk menghasilkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Seperti telah telah dijelaskan pada Bab 1, permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah penyakit infeksi diare yang disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli*. Pada bagian tinjauan pustaka ini, penulis akan mendeskripsikan secara lebih objektif hal – hal yang berhubungan dengan latar belakang tersebut, dimulai dari pengantar tentang penyakit diare, penyebabnya, sampai teknologi yang diterapkan untuk menganggulangnya.

Selain itu juga dijelaskan secara ringkas tentang disinfeksi dan jenis-jenis disinfektannya, yaitu ozon dan sinar UV.

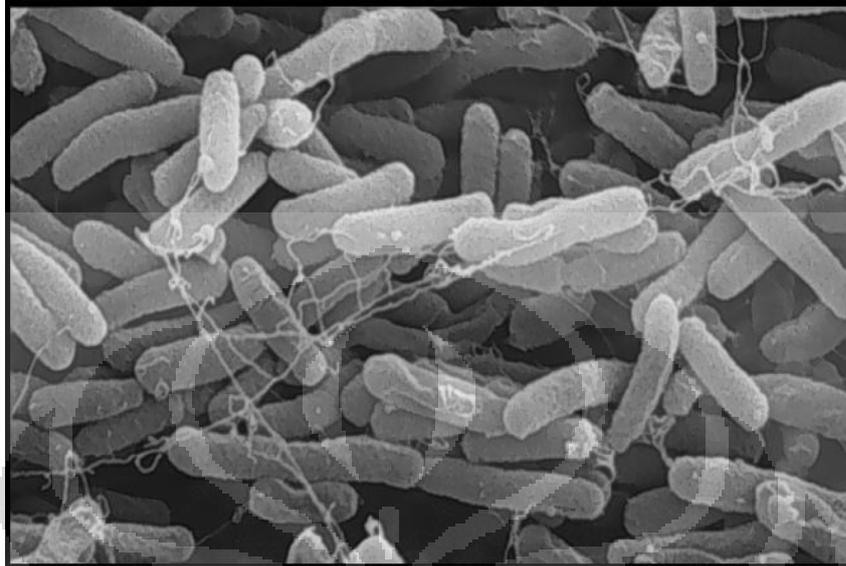
2.1. Penyakit Diare dan Penyebabnya

Penyakit diare merupakan salah satu jenis penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli* yang merupakan bakteri berbentuk batang, gram-negatif, dan termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae*. *E. coli* ini mempunyai ukuran panjang 0,5 - 1,0 mikrometer dan lebar 1,0 - 3,0 mikrometer (Ahira, 2011). Taksonomi bakteri *Escherichia coli* adalah sebagai berikut (forum.upi.edu, 2012):

Divisi : *Protophyta*
Kelas : *Schizomycetes*
Ordo : *Eubacteriales*
Famili : *Enterobacteriaceae*
Genus : *Escherichia*
Spesies : *Escherichia coli*

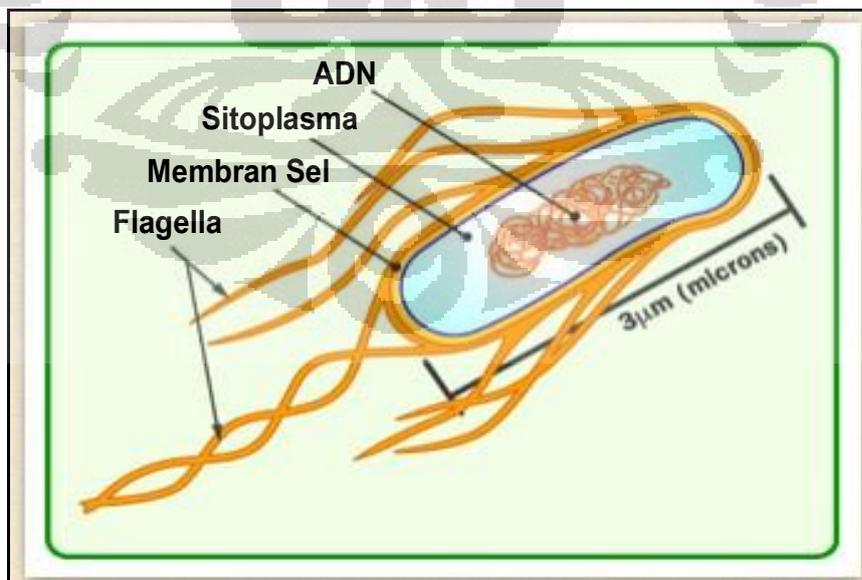
E. coli merupakan penghuni normal di dalam usus semua jenis hewan, termasuk manusia. Bakteri *E. coli* ini ditemukan oleh Theodor Escherich pada tahun 1885 (Ahira, 2012). Bakteri ini merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk basil atau batang. Bakteri *E. coli* dapat hidup dan berkembang biak dengan baik pada suhu antara 20 °C sampai dengan 45 °C. Pada rentang suhu tersebut, bakteri *E. coli* dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik di dalam saluran pencernaan manusia. Apabila digunakan metode pembiakan secara aerob,

E.coli merupakan spesies dominan yang ditemukan di dalam kotoran. Bentuk dari bakteri *E. coli* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Bakteri *Escherichia coli*
(homepage.usask.ca, 2012)

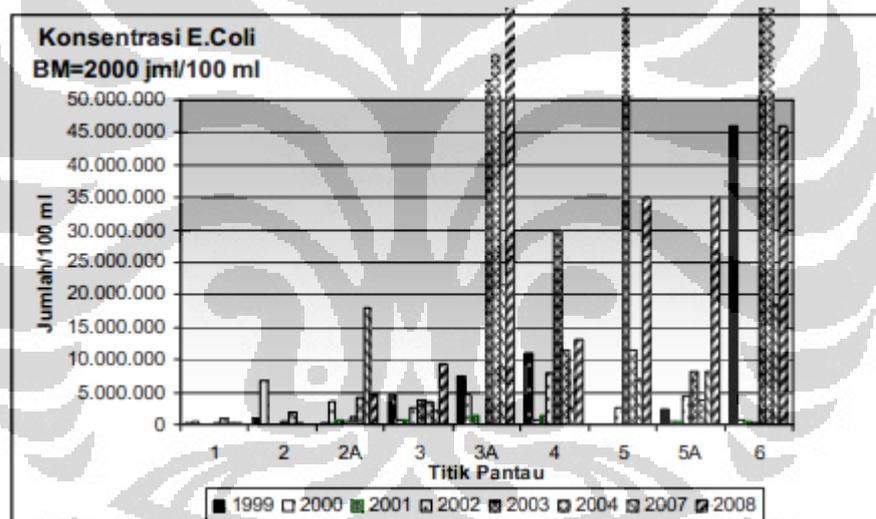
Sedangkan struktur dari bakteri *Escherichia coli* dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Struktur tubuh *Escherichia coli*
(healthdefine.com, 2012)

Pada umumnya *E. coli* berperan positif di dalam tubuh dengan cara menekan pertumbuhan spesies-spesies bakteri yang berbahaya dan membentuk vitamin dalam jumlah yang cukup banyak. Sebagian kecil strain *E. coli* dapat menyebabkan penyakit pada manusia melalui beberapa mekanisme yang berbeda, diantaranya adalah strain-strain penyebab penyakit pada saluran pencernaan/*enteropathogenic* (EPEC).

Berdasarkan data, Sungai Ciliwung merupakan sungai yang paling parah mengalami kerusakan dan pencemaran limbah domestik dibandingkan dengan sungai lain di Jakarta (Yudo, 2010). Jumlah bakteri *E. coli* pada Sungai Ciliwung masih sangat tinggi. Data tentang jumlah bakteri *E. coli* yang terdapat dalam Sungai Ciliwung dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Konsentrasi *Escherichia coli* di sepanjang sungai Ciliwung-Banjir Kanal Barat (Yudo, 2010)

Bakteri *E. coli* biasanya terdapat pada air minum yang tidak mengalami proses disinfeksi. Upaya-upaya telah dilakukan untuk mengatasi kasus penyakit diare yang sering melanda bangsa Indonesia ini. Salah satu upaya tersebut yaitu dengan metode pencegahan. Metode pencegahan ini yaitu dengan penyediaan makanan dan minuman bersih yang terbebas dari bakteri. Penulis memilih metode penyediaan air minum bersih untuk mengatasi masalah penyakit infeksi diare yang melanda Indonesia ini.

2.2. Disinfeksi

Disinfeksi yaitu mekanisme inaktivasi atau destruksi organisme patogen untuk mencegah penyebaran penyakit pada pengguna air dan lingkungan sekitar. Disinfeksi ini terdiri dari dua proses yaitu inaktivasi organisme patogen dan pemindahan secara fisis organisme tersebut. Karakteristik yang diperlukan untuk memilih disinfektan yang ideal yaitu kemampuan menghancurkan bakteri patogen secara cepat dalam berbagai kondisi, ketahanan, mampu menghilangkan rasa dan bau, tidak ada pembentukan senyawa atau produk samping yang berbahaya, biaya terjangkau, dan dapat terdeteksi (Long, 2005).

Secara umum disinfektan dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu (Long, 2005):

1. Disinfektan fisika yaitu radiasi sinar ultraviolet (UV) dan panas (pasteurisasi dan pendidihan).
2. Disinfektan dengan bahan kimia seperti klor, kloroamina, klor-dioksida, dan ozon.

Tiap-tiap disinfektan mempunyai efektivitas berbeda-beda dalam menginaktivasi sejumlah mikroorganisme patogen, yang bergantung pada turbiditas, temperature, karbon organik terlarut, pH, dan pengurangan kontaminan inorganik (Long, 2005).

2.3. Ozon untuk Disinfeksi

Ozon merupakan sebuah molekul gas yang terdiri dari tiga buah atom oksigen. Ozon merupakan gas yang hampir tidak larut dalam air (0,03 mg/100 mL) pada suhu 20 °C, berdekomposisi menjadi oksigen dalam waktu singkat, dan efektif dalam pendispersian untuk aktivitas anti mikroba. Ozon merupakan disinfektan dan oksidan yang kuat, biasanya digunakan oleh industri untuk proses penghilangan warna (*decoloration*), penghilangan bau (*deodorization*), dan untuk memproduksi perubahan struktur senyawa organik (Kyu-Earn and Kangb, 2006). Konsentrasi ozon pada rentang 0,3 mg/L sampai dengan 0,9 mg/L dapat digunakan untuk membunuh *E. coli*, *Vibrio*, *Salmonella*, *Yersinia*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, dan *Listeria* serta dapat digunakan untuk membunuh virus (Kyu-Earn and Kangb, 2006).

Ozon ini dapat dihasilkan/dibentuk dari sinar UV dan muatan korona. Berdasarkan hasil pengujian di lapangan, Ozon dapat digunakan dalam proses inaktivasi bakteri pencemar air (Graham, 2005). Ozon dapat berfungsi sebagai disinfektan terhadap patogen, mereduksi rasa dan bau serta kemampuan mengoksidasi senyawa. Selain teknologi ozon, pada proses disinfeksi bakteri juga dapat dilakukan dengan menggunakan sinar UV. Ozon, sinar UV, mikofiltrasi efektif untuk membunuh bakteri *E. coli* dan semua coliform (Graham, 2005). Pada proses terhadap air dengan tanah dan bahan organik tersuspensi, waktu paruh dari aktivitas ozon kurang dari satu menit (Suslow, 2004). Kelebihan ozon yang tidak terdispersi dalam air harus ditangkap dan dihancurkan untuk mencegah korosi dan bahaya terhadap manusia (Suslow, 2004). Metode penghancuran tersebut yaitu dengan menggunakan sinar UV dengan panjang gelombang 254 nm yang dikombinasikan dengan penggunaan agen katalis (Suslow, 2004).

Ozon memiliki sifat dapat terdekomposisi menjadi radikal OH (*OH), yang merupakan oksidan yang sangat kuat dalam air. Oleh karena itu, proses ozonasi selalu melibatkan dua hal yaitu radikal OH dan ozon itu sendiri. Selama proses disinfeksi oleh ozon berlangsung, proses oksidasi mungkin terjadi antara kedua oksidan, radikal OH dan ozon. Sehubungan dengan hal tersebut, produk samping yang tidak diinginkan dapat terbentuk dari reaksi antara ozon dan radikal OH dengan komponen dalam air, seperti senyawa organik dan senyawa non organik. Biasanya ozonasi selalu diikuti dengan filtrasi biologi, sehingga sebagian senyawa organik yang telah dioksidasi bisa digunakan untuk dimineralisasikan secara mikrobiologi (Gunten, 2003).

Perilaku ozon pada bahan organik dipengaruhi oleh pH. Pada pH rendah, ozon akan bereaksi secara eksklusif dengan senyawa yang memiliki gugus spesifik melalui reaksi selektif seperti elektrofilik, nukleofilik, atau reaksi tambahan dipolar (ozonasi langsung). Pada kondisi normal, ozon akan terdekomposisi menghasilkan radikal OH yang merupakan oksidator kuat dan bereaksi dengan senyawa organik dan inorganik yang beragam pada air (ozonasi tidak langsung). Pada umumnya, ozonasi langsung mendominasi pada pH rendah ($\text{pH} < 4$), ozonasi langsung dan tidak langsung terjadi pada pH 4-9, dan ozonasi tidak langsung mendominasi pada $\text{pH} > 9$ (Peratitus, 2003).

2.3.1. Pembentukan Ozon

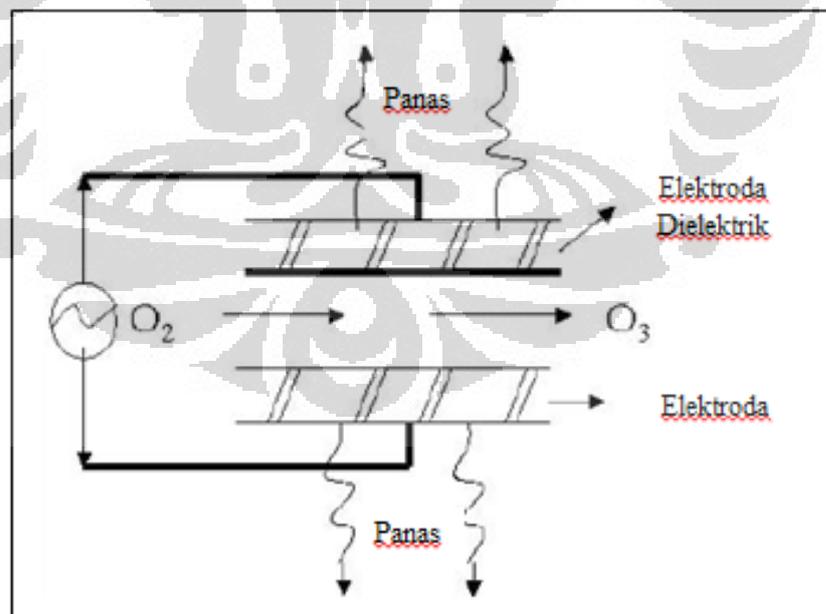
Ozon dapat dibentuk dengan dua cara yaitu sinar UV dan lucutan korona. Penjelasan tentang pembentukan ozon dijabarkan pada bagian berikut:

a. Sinar UV Pembentuk Ozon

Panjang gelombang sinar UV yang dapat digunakan untuk menghasilkan ozon adalah 185 nm. Proses pembentukannya adalah dengan melewati udara pada lampu UV sehingga sinar UV tersebut akan memecah molekul O_2 dalam gas, menghasilkan ion, radikal atau atom oksigen (O^{\cdot}), yang dalam prosesnya untuk mencari stabilitas, bersenyawa dengan molekul oksigen lain dan akhirnya membentuk molekul ozon yang lebih stabil.

b. Lucutan Korona Pembentuk Ozon

Konfigurasi/sistem ozon muatan korona ini berdasarkan pada dielektrik. Lucutan dielektrik ini berdifusi ke permukaan dielektrik, membentuk medan listrik atau yang disebut korona. Gambar 2.4 berikut ini merupakan gambar konfigurasi korona pembentuk ozon:

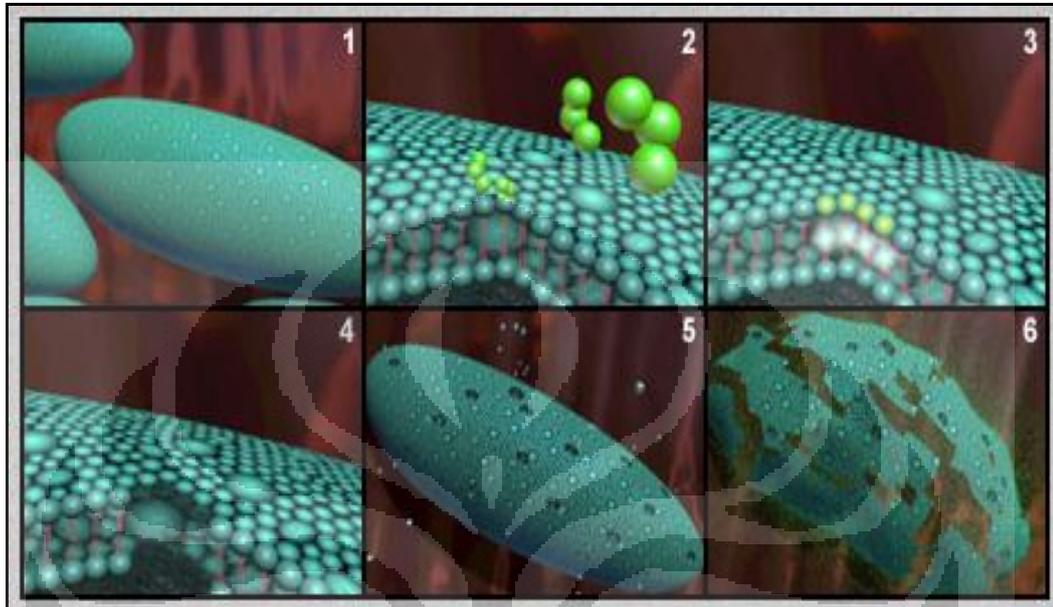


Gambar 2.4. Konfigurasi korona pembentuk ozon

(Alsheyaba, 2007)

2.3.2. Mekanisme Disinfeksi Menggunakan Ozon

Mekanisme penghancuran dinding sel bakteri oleh ozon dapat dijelaskan oleh Gambar 2.5. berikut ini.



Gambar 2.5. Efek ozon pada bakteri
(Samir R. Fanous)

Keterangan Gambar 2.5. adalah sebagai berikut:

1. Komputer menangkap gambar sel bakteri
2. Molekul ozon mendekati dinding sel bakteri
3. Penetrasi dan pembentukan lubang pada dinding sel bakteri oleh ozon
4. Efek ozon pada dinding sel
5. Sel bakteri setelah berkontak dengan sedikit molekul ozon
6. Penghancuran sel oleh ozon (sel lisis)

Ozon sebagai disinfektan mempunyai kelebihan dan kekurangan yaitu terdapat dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Kelebihan dan kekurangan ozon sebagai disinfektan

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Proses ozonasi memerlukan waktu kontak yang singkat dengan air limbah (sekitar 10 menit sampai 30 menit). - Tidak ada residu yang berbahaya yang perlu untuk dihilangkan setelah proses ozonasi karena ozon terdekomposisi dengan cepat. - Ozon lebih efektif dibandingkan dengan klorin dalam menghancurkan bakteri dan virus. - Ozon dibentuk di dalam berkaitan dengan masalah safety. - Ozonasi menaikkan konsentrasi oksigen terlarut (DO) dari air limbah yang dialirkan, sehingga dapat mengurangi kebutuhan akan aerasi ulang dan juga meningkatkan kandungan oksigen dalam badan air penerima. - Setelah ozonasi, tidak ada pertumbuhan kembali mikroorganisme kecuali yang terlindungi oleh partikulat di dalam aliran air limbah. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ozon sangat reaktif dan korosif, sehingga membutuhkan material yang tahan korosi seperti stainless steel. - Dosis rendah kurang efektif pada inaktivasi beberapa virus, jamur, dan kista. - Ozonasi merupakan teknologi yang sangat kompleks dibandingkan dengan disinfeksi klorin atau UV, membutuhkan peralatan yang sangat rumit serta sistem kontak yang efisien. - Ozon bersifat iritasi dan beracun, sehingga off gas dari kontraktor harus dihancurkan untuk mencegah kontak dengan pekerja. - Biaya pengolahan relatif mahal baik dalam modal maupun perawatannya. - Ozonasi tidak ekonomis untuk air limbah dengan kandungan padatan tersuspensi yang tinggi (SS), kebutuhan oksigen biokimia yang tinggi (BOD), kebutuhan oksigen untuk reaksi kimia yang tinggi, atau total organik karbon yang tinggi. - Tidak ada pengukuran residu untuk mengindikasikan efisiensi dari disinfeksi ozon.

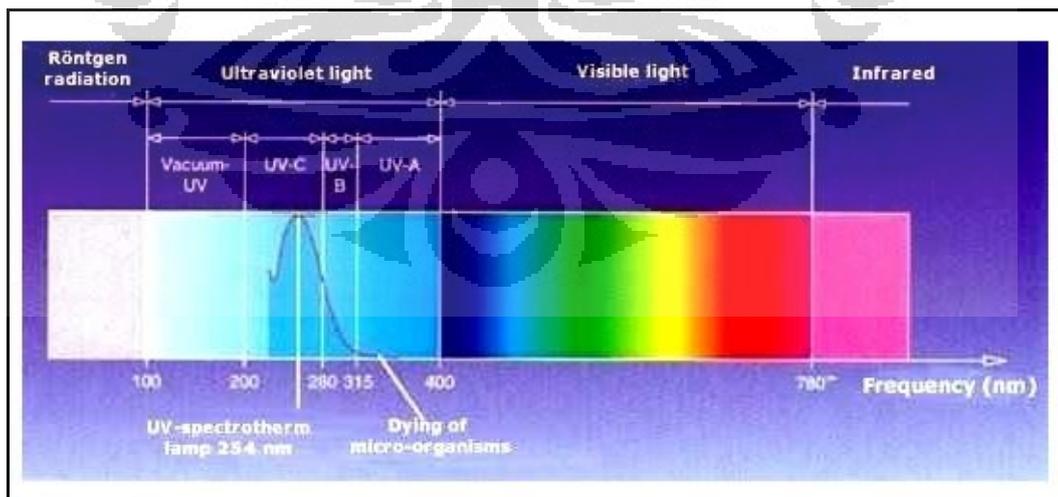
Sumber: (Halim, 2006)

2.4. Radiasi Sinar Ultraviolet

Sinar UV efektif digunakan untuk membunuh bakteri *Escherichia coli* dan semua coliform (Graham, 2005). Sinar UV dapat dibagi menjadi 4 macam spektrum yaitu (Yonkyu Choi 2009):

1. UV vakum atau VUV (100-200 nm)
2. UV-C (200-280 nm)
3. UV-B (280-315 nm)
4. UV-A (315-400 nm)

Sinar UV yang dapat digunakan untuk membunuh mikroorganisme yaitu UV-B dan UV-C. Selain itu, UV-C efektif untuk proses disinfeksi pada “*fish smokehouses*” dan dapat mengurangi keberadaan *Listeria monocytogenes* (N. Bernbom, 2010). Meskipun sinar VUV dapat digunakan untuk membunuh mikroorganisme namun tidak efisien. Hal tersebut dikarenakan sinar VUV sangat cepat menghilang pada jarak yang pendek ketika melewati air. Sinar VUV biasanya digunakan untuk merusak atau merengkah struktur/ikatan karbon organik (Yonkyu Choi, 2009). Sinar UV yang biasa digunakan untuk mendisinfeksi air yaitu sinar UV-C yang panjang gelombangnya 254 nm karena panjang gelombang tersebut cenderung aman (Yonkyu Choi, 2009). Gambar sinar UV dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6. Spektrum elektromagnetik

(Inc, 2007)

Sinar UV-C dengan panjang gelombang 254 nm terdapat pada lapisan atmosfer. Sinar UV tersebut dapat dibuat secara buatan yaitu dengan mengkonversi energi elektrik dalam lampu quartz “hard glass” yang berisi tekanan uap merkuri rendah. Elektron akan mengalir melalui uap merkuri yang telah terionisasi di antara lampu elektroda dan kemudian membentuk sinar UV (Halim, 2006).

Sinar UV membunuh mikroorganisme dengan cara sinar UV tersebut akan berpenetrasi melalui dinding sel dan membran sitoplasma mikroorganisme, kemudian sinar UV tersebut akan menyebabkan penyusunan ulang molekul dari DNA mikroorganisme sehingga mikroorganisme tersebut akan berhenti bereproduksi dan kemudian akan mati (Halim, 2006).

Kekurangan dan kelebihan sinar UV sebagai disinfektan yaitu terdapat pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2. Kelebihan dan kekurangan sinar UV sebagai disinfektan

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Diterima secara universal dalam sistem disinfeksi air untuk diminum atau tidak. - Ramah lingkungan. - Ekonomis dan konsumsi energi yang rendah. - Tidak ada penghilangan mineral yang bermanfaat. - Tidak ada perubahan dalam rasa, pH, bau, karakteristik air tersebut. - Cocok untuk semua proses air, seperti RO, filtrasi, perubahan ion, dan sebagainya. 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan filtrasi awal agar mencapai keefektifannya dimana sedimen dan kontaminan lainnya dapat menyebabkan bayangan yang mencegah sinar UV menyentuh mikroorganisme yang berbahaya. - Membutuhkan koneksi elektrik. - Berbahaya bagi manusia bila terkena radiasi sinar UV. - Limbah air yang akan didisinfeksi tidak mengandung padatan terlarut. Jumlah padatan terlarut tinggi, dan material organik terlarut dapat mengabsorpsi UV sehingga meningkatkan kebutuhan UV.

Tabel 2.2. Kelebihan dan kekurangan sinar UV sebagai disinfektan (Lanjutan)

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Modal dan biaya operasional yang rendah apabila dibandingkan dengan teknologi lain seperti ozon, klorin, dan lain-lain. - Proses pengolahan yang aman, cepat, tidak memerlukan tanki penyimpanan, tidak memerlukan pengawasan atau pengukuran, waktu retensi yang lama, dan sebagainya. - Tidak ada senyawa kimia yang ditambahkan ke dalam suplai air, tidak ada pembentukan senyawa <i>by products</i>. 	

Sumber: (Halim, 2006)

2.5. Metode TPC (*Total Plate Count*)

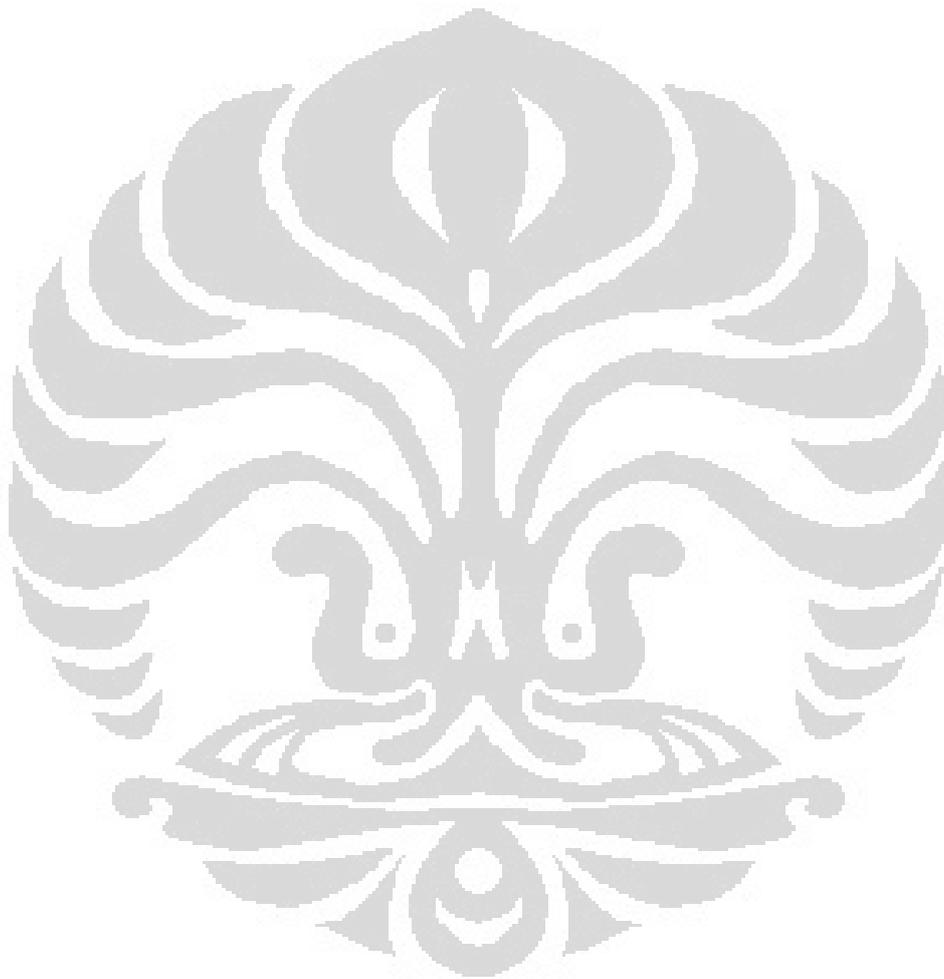
Metabolisme merupakan reaksi-reaksi kimia yang terjadi pada makhluk hidup. Aktivitas metabolisme tersebut tidak terlepas dari adanya enzim. Berdasarkan tempat bekerjanya, bakteri memiliki juga jenis enzim yaitu endoenzim dan eksoenzim (Waluyo, 2004).

Sifat metabolisme bakteri dalam uji biokimia biasanya dilihat dari interaksi metabolit-metabolit yang dihasilkan dengan reagen-reagen kimia. Selain itu dilihat kemampuannya menggunakan senyawa tertentu sebagai sumber karbon dan sumber energi (Fardiaz, 1992).

Menginkubasikan cawan petri tersebut pada suhu 30°C selama 24 – 48 jam dengan meletakkan cawan pada posisi terbalik.

Sampel murni dari bakteri *Escherichia coli* dimasukkan ke dalam larutan *Buffered Peptone Water* (BPW). BPW adalah nutrient broth yang digunakan untuk mengkultur *E.coli*. Agar yang digunakan untuk uji TPC adalah *CCA* (*Chromocult coliform Agar*). Metode TPC ini didasarkan pada anggapan bahwa

setiap sel yang dapat hidup akan berkembang biak menjadi satu koloni. Proses yang perlu dilakukan yaitu mengencerkan sampel dan mencawakan hasil pengenceran tersebut. Agar memenuhi persyaratan statistik, cawan yang dipilih untuk penghitungan koloni yaitu yang mengandung antara 30 – 300 koloni (Modul Praktikum Mikrobiologi Lingkungan, 2009).

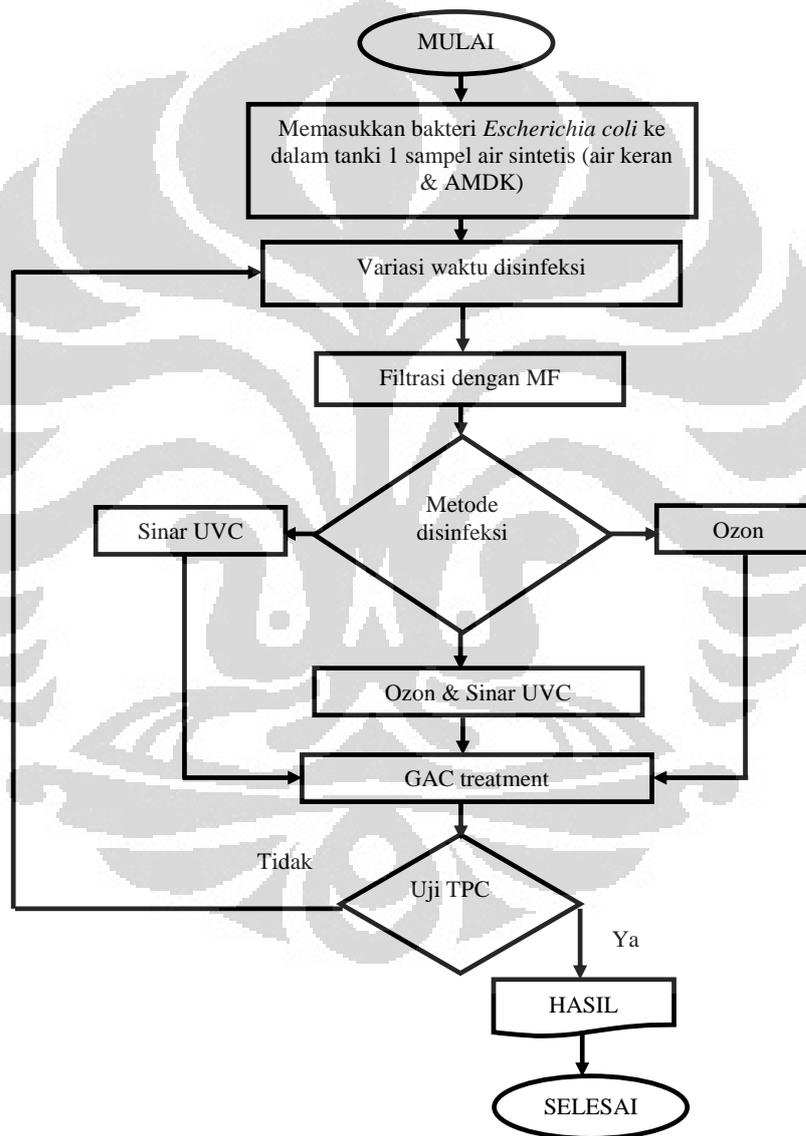


BAB 3

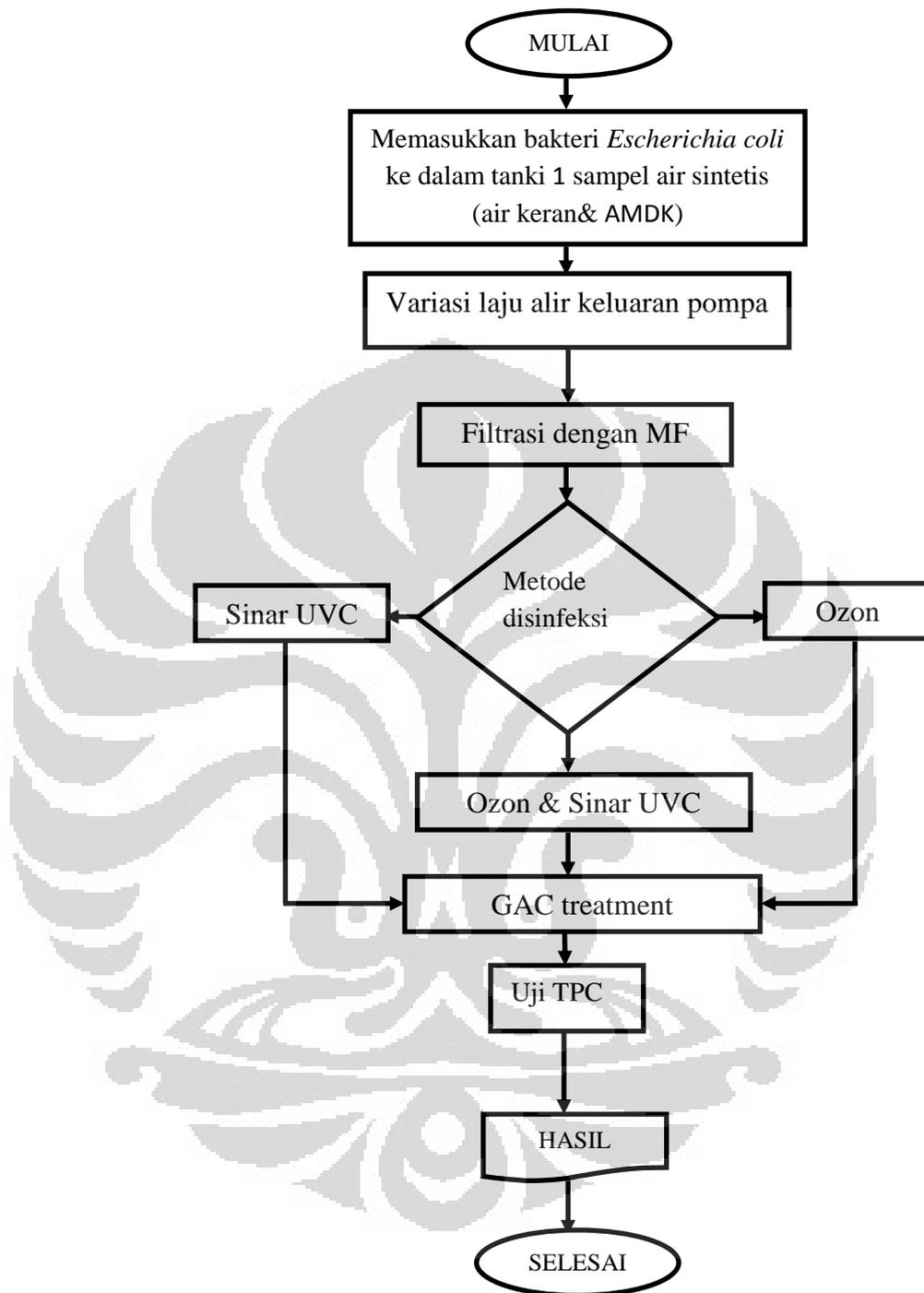
METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Skematis penelitian ini secara garis besar memiliki dua cara, yaitu dalam aliran sirkulasi dan aliran 1-lewatan, yang dapat dijelaskan dalam diagram-diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian untuk aliran sirkulasi



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian untuk aliran kontinyu 1-lewatan

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. Kemudian untuk penelitian uji bakteri *E.coli* pada sampel dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini terdiri atas tiga variabel yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat. Adapun ketiga variabel tersebut adalah sebagai berikut:

3.3.1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan dalam penelitian ini, yaitu:

- Waktu disinfeksi, divariasikan menjadi 8 bagian, yaitu 0, 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Waktu disinfeksi divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan waktu disinfeksi yang paling optimal.
- Laju alir keluaran pompa, divariasikan menjadi 3 bagian, yaitu 0,75; 1; dan 1,5 LPM. Laju alir keluaran pompa divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan laju alir keluaran pompa yang paling optimal.
- Penggunaan sinar UVC, ada dan tidaknya sinar UVC pada proses disinfeksi bertujuan untuk mendapatkan disinfektan yang paling optimal, teknologi ozon saja atau sinar UVC saja atau teknologi ozon dan sinar UVC.

3.3.2. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dijaga konstan selama penelitian agar penelitian berjalan sesuai yang diharapkan, yaitu:

- Suhu sistem, yang dijaga konstan pada suhu ruang yaitu sekitar 25 – 30 °C
- Intensitas sinar UV dan dosis serta laju alir ozonator yang digunakan

3.3.3. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah/kuantitas bakteri *Escherichia coli* dalam sampel.

3.4. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.4.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1. Daftar bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1.	Bakteri <i>Escherichia coli</i>	Bakteri yang akan dikontaminasi pada air untuk kemudian diozonasi dan dihitung jumlahnya untuk mengetahui tingkat efektivitas disinfeksi
2.	BPW	Untuk kultur bakteri
3.	AMDK	Sebagai air sampel dalam proses disinfeksi
4.	Air keran	Sebagai air sampel dalam proses disinfeksi
5.	Aquades	Untuk pembuatan larutan kimia
6.	Larutan KI 0,1 N	Bahan dalam proses titrasi
7.	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O 0,005 N	Bahan dalam proses titrasi
8.	H ₂ SO ₄ 2 N	Bahan dalam proses titrasi
9.	Indikator kanji (amilum)	Indikator untuk membantu proses titrasi

3.4.2. Peralatan Penelitian

Alat – alat yang dipakai dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.2. Daftar alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Tanki air	Sebagai reaktor pada proses disinfeksi
2.	Generator Ozon/Ozonator	Menghasilkan ozon untuk proses disinfeksi
3.	<i>Flow Meter</i>	Mengontrol laju aliran keluaran pompa
4.	Pipet ukur	Sebagai alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu

Tabel 3.2. Daftar alat yang digunakan dalam penelitian (Lanjutan)

No.	Alat	Fungsi
5.	Gelas ukur	Sebagai alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu
6.	Erlenmeyer	Wadah pencampuran larutan
7.	Jarum Ose	Sebagai alat untuk mengambil bakteri yang dibutuhkan
8.	Buret 50 cc	Sebagai alat bantu dalam proses titrasi
9.	Statip	Sebagai alat bantu dalam proses titrasi
10.	<i>Stopwatch</i>	Menghitung waktu kontak dalam proses ozonasi
11.	<i>Beaker glass</i>	Wadah pencampuran larutan
12.	Kaca Arloji	Wadah untuk menimbang
13.	Tabung Reaksi	Tempat pengenceran larutan
14.	Timbangan	Mengukur berat bahan dan sampel
15.	<i>pH meter</i>	Sebagai alat untuk mengukur pH sampel
16.	Autoklaf	Tempat sterilisasi alat dan bahan
17.	Cawan Petri	Tempat pembiakan bakteri
18.	Spatula Besi	Sebagai alat untuk mengambil zat yang diperlukan
19.	Bunsen	Memanaskan peralatan yang akan digunakan agar steril
20.	<i>Transfer box</i>	Tempat melakukan metode TPC
21.	Inkubator	Tempat menginkubasi bakteri
22.	Refrigerator	Tempat menyimpan bakteri dan sampel
23.	<i>Hot plate stirrer</i>	Memanaskan medium agar untuk TPC
24.	Pipet	Mengambil sejumlah volume larutan
25.	<i>Micropipet</i>	Mengambil sejumlah volume larutan yang kecil (1000 μ l)

Tabel 3.2. Daftar alat yang digunakan dalam penelitian (Lanjutan)

No.	Alat	Fungsi
26.	<i>Tip</i>	Mengambil sampel dalam proses TPC
27	Pompa	Sebagai alat untuk mengalirkan air pada saat proses disinfeksi
28	GAC	Sebagai alat untuk menghilangkan rasa dan bau setelah proses disinfeksi
29	Membran mikrofiltrasi	Sebagai alat untuk menyaring partikel yang ukurannya lebih besar daripada bakteri <i>E. coli</i>
30	Lampu UV	Sebagai alat untuk menghasilkan sinar UV-C pada proses disinfeksi
31	Sarung tangan, masker, dan jas lab	Alat untuk <i>safety</i> pada saat melakukan penelitian
32	Botol sampel	Sebagai alat untuk meletakkan sampel

3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Kultur Bakteri *Escherichia coli*

Langkah-langkah yang dilakukan untuk kultur bakteri adalah sebagai berikut:

- Pindahkan kultur murni ke dalam tabung reaksi yang sudah berisi 100 ml BPW 0,1%, pemindahan dilakukan menggunakan jarum ose.
- Lakukan perhitungan jumlah bakteri dengan metode TPC.

3.5.2. Preparasi Bahan-bahan yang Dibutuhkan

Proses pembuatan bahan-bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Buat larutan KI 0,1 N dengan cara melarutkan 20 gr KI ke dalam 1000 mL aquades.
- Buat larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,005 N dengan cara melarutkan 0,62 gr $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 1000 mL aquades.
- Buat larutan H_2SO_4 2 N dengan cara pengenceran, dimana larutan H_2SO_4 pekat (18 N) sebanyak 14 mL diencerkan dengan aquades sehingga didapat larutan H_2SO_4 2 N sebanyak 250 mL.

- d. Siapkan larutan amilum 1 % yaitu 1 gr padatan *starch* ditambahkan dengan aquades hingga 100 mL, kemudian memanaskannya hingga mendidih. Kemudian didinginkan.

3.5.3. Proses Sterilisasi Botol Sampel

Pada tahap ini bertujuan untuk mendapatkan botol sampel yang steril sebagai tempat untuk meletakkan sampel air sebelum dan setelah proses disinfeksi. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap persiapan ini, adalah sebagai berikut:

- a. Cuci botol sampel sampai bersih.
- b. Masukkan botol sampel tersebut ke dalam autoklaf.
- c. Masukkan botol sampel tersebut ke dalam oven setelah dikeluarkan dari autoklaf.

3.5.4. Pengukuran Laju Alir Ozonator

Pada tahap ini dilakukan pengukuran laju alir ozon, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pasang selang dari ozonator ke flowmeter yang terdapat di laboratorium Intensifikasi Proses, Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- b. Hidupkan ozonator, kemudian membaca angka di flowmeter kemudian mencatatnya.

3.5.5. Pengukuran Produktivitas Ozonator

Pengukuran konsentrasi ozon yang dihasilkan oleh ozonator dengan menggunakan metode Iodometri. Metode ini berdasarkan reaktivitas ozon terhadap larutan KI, dengan langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Masukkan larutan KI yang telah dipersiapkan ke dalam dua Erlenmeyer 250 mL dengan masing-masing erlenmeyer berisi 200 mL larutan KI, kemudian tutuplah dengan penutup karet yang telah dilubangi.
- b. Pasang selang dari ozonator ke Erlenmeyer hulu kemudian memasang selang dari lubang hulu ke lubang Erlenmeyer hilir. Pada setiap ujung selang ke Erlenmeyer tersebut dipasang *bubbler*.
- c. Nyalakan ozonator dan stopwatch bersama-sama. Perhatikan perubahan warna yang terjadi pada setiap Erlenmeyer.

- d. Matikan stopwatch dan ozonator pada saat terjadi perubahan warna larutan KI (dari bening menjadi kuning coklat di bagian hulu dan kuning muda pada bagian hilir). Kemudian catatlah waktunya.
- e. Ambil sebanyak 25 ml sampel KI tersebut pada bagian hulu kemudian dititrasikan dengan menggunakan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang diisi ke dalam buret, namun sebelum dilakukan titrasi terlebih dahulu ditambahkan larutan H_2SO_4 sebanyak 4 ml dan indikator amylum secukupnya hingga larutan berwarna biru tua (hal tersebut menandakan adanya I_2 dalam sampel).
- f. Hentikan proses titrasi setelah larutan KI berubah warna dari biru tua menjadi bening. Mencatat volume larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang terpakai.
- g. Ulangi prosedur e sampai dengan f untuk sampel KI bagian hilir.
- h. Ulangi prosedur a sampai dengan g sebanyak satu kali.

3.5.6. Proses Disinfeksi

Proses ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas teknologi ozon dan atau sinar UV dalam proses disinfeksi bakteri *Escherichia coli*. Penelitian dilakukan dengan menganalisis sampel air yang mengandung bakteri *Escherichia coli*, sebelum dan setelah dilakukan disinfeksi dengan dan atau sinar UV. Sebelum melakukan proses disinfeksi, semua peralatan yang digunakan dalam proses disinfeksi ini dipasang dan dirangkai seperti terlihat pada Gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3. Rangkaian alat sistem proses disinfeksi

Rangkaian alat yang digunakan dalam percobaan ini adalah kombinasi ozon/sinar UV. Hal tersebut berdasarkan literatur yang menyatakan bahwa sinergi/kombinasi ozon/sinar UV adalah teknologi yang paling optimum dalam menginaktivasi spora *Bacillus subtilis* (Yeon, 2007). Selain itu, ozon lebih efektif untuk menginaktivasi bakteri dalam jumlah besar sehingga pada penelitian ini digunakan disinfektan ozon dan dilanjutkan dengan sinar UV.

3.5.6.1 Proses Disinfeksi dalam Aliran Sirkulasi

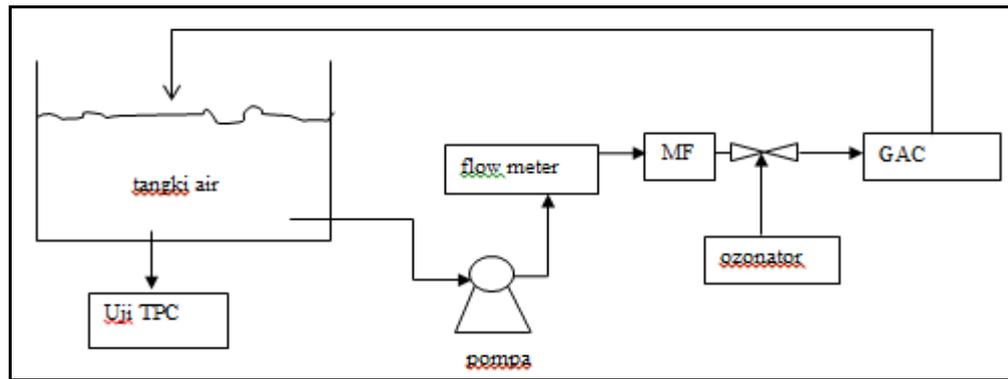
Proses sirkulasi dilakukan terhadap sampel air minum dalam kemasan (AMDK) dan keran.

1. Disinfeksi Menggunakan Ozon pada AMDK dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel AMDK.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan ozonator.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan keran yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- h. Ulangi prosedur g untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan ozon dan sampel AMDK ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut ini:



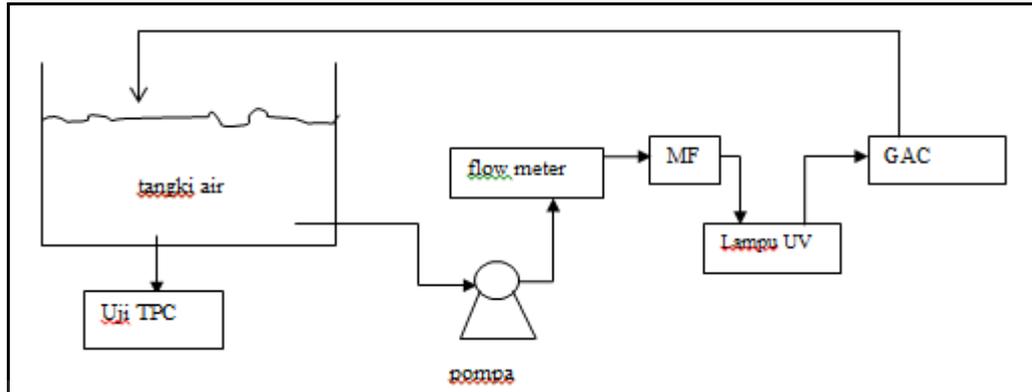
Gambar 3.4. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel AMDK pada proses sirkulasi

2. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV pada AMDK dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan sinar UV pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel AMDK.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan lampu UV.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- h. Ulangi prosedur g untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan sinar UV dan sampel AMDK ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut ini:



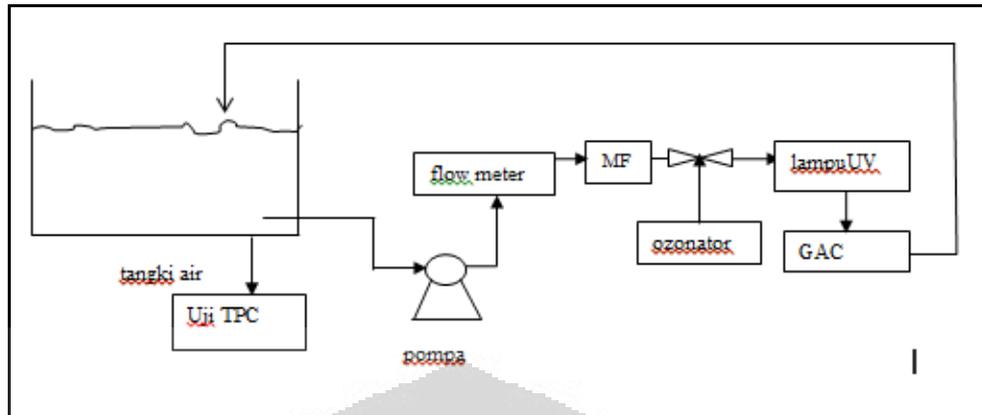
Gambar 3.5. Skema percobaan disinfeksi dengan sinar UV dan sampel AMDK pada proses sirkulasi

3. Disinfeksi Menggunakan Ozon dan Sinar UV pada AMDK dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon dan sinar UV pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel AMDK.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan ozonator.
- e. Hidupkan lampu UV.
- f. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- g. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- h. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- i. Ulangi prosedur no. h untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan sinar UV dan ozon serta sampel AMDK ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut ini:



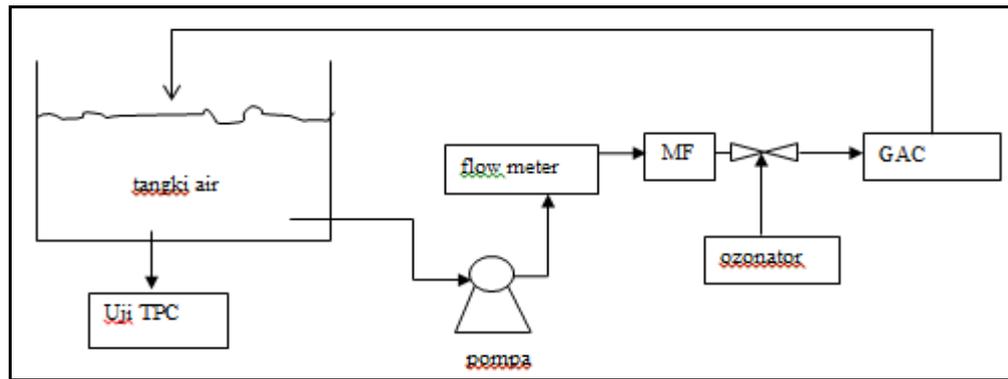
Gambar 3.6. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel AMDK pada proses sirkulasi

4. Disinfeksi Menggunakan Ozon pada Air Sampel Air Keran dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air keran.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air keran kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan ozonator.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan keran yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- h. Ulangi prosedur g untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan ozon dan sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut ini:



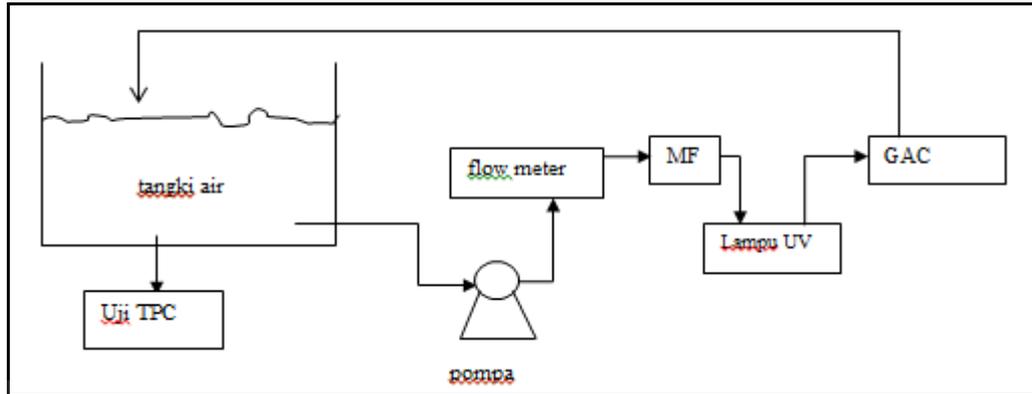
Gambar 3.7. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel air keran pada proses sirkulasi

5. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV pada Air Sampel Keran dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan sinar UV pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air keran.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air keran kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian mengaduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan lampu UV.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- h. Ulangi prosedur no. g untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan sinar UV dan sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut ini:



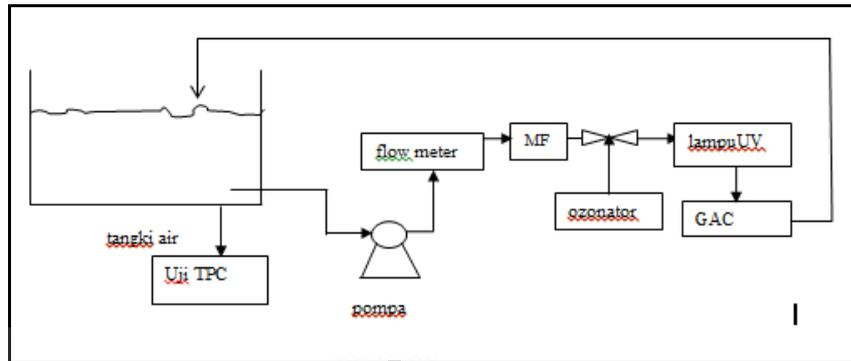
Gambar 3.8. Skema percobaan disinfeksi dengan sinar UV dan sampel air keran pada proses sirkulasi

6. Disinfeksi Menggunakan Ozon dan Sinar UV pada Air Sampel Keran dengan Variasi Waktu Disinfeksi

Langkah-langkah pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon dan sinar UV pada air sampel adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air keran.
- b. masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air keran kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan ozonator.
- e. Hidupkan lampu UV.
- f. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- g. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan keran yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- h. Ambil sampel keluaran dari GAC setelah proses disinfeksi selama 3 menit, kemudian masukkan ke dalam botol sampel yang sudah steril.
- i. Ulangi prosedur no. h untuk waktu disinfeksi 3 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit.

Skema penelitian pada proses sirkulasi dengan menggunakan disinfektan sinar UV dan ozon serta sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3.9. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel air keran pada proses sirkulasi

3.5.6.2 Proses disinfeksi dalam Aliran Kontinyu 1-Lewatan

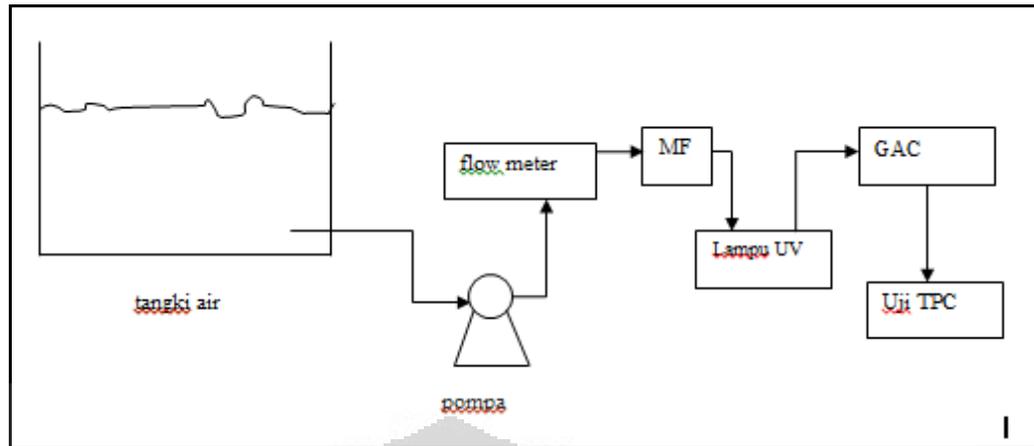
Proses kontinyu dilakukan terhadap sampel air minum dalam kemasan (AMDK) dan keran. Pada sampel air keran, dilakukan tiga kali percobaan yaitu menggunakan disinfektan ozon, sinar UV, dan gabungan ozon dan sinar UV.

1. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV pada AMDK

Prosedur percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel AMDK.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel AMDK kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan lampu UV.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel pada tanki kontinyu ketika waktu disinfeksi kira-kira 5 menit (agar laju alir aliran stabil) dan stopwatch dimatikan.

Skema penelitian pada proses kontinyu dengan disinfektan sinar UV dan sampel AMDK ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut ini:



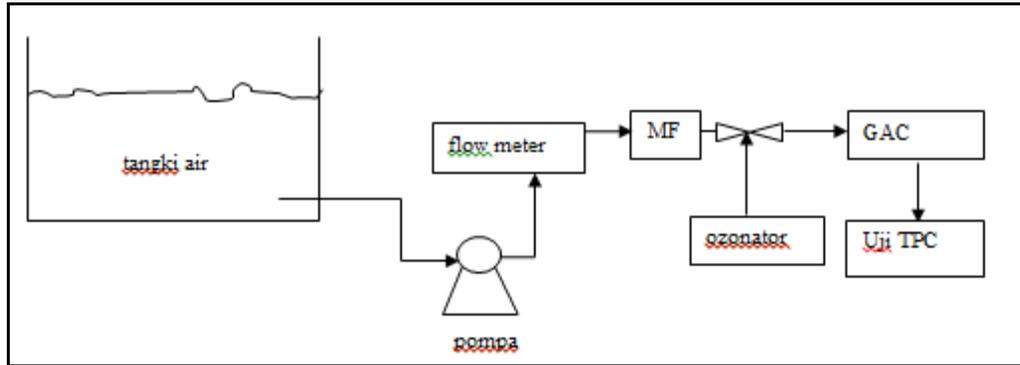
Gambar 3.10. Skema percobaan disinfeksi dengan lampu UV dan sampel AMDK pada sistem kontinyu

2. Disinfeksi Menggunakan Ozon pada Air Sampel Keran

Prosedur percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel keran.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian mengaduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan ozonator.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel pada tanki kontinyu ketika waktu disinfeksi kira-kira 5 menit (agar laju alir aliran stabil) dan stopwatch dimatikan.

Skema penelitian pada proses kontinyu dengan disinfektan ozon dan sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut ini:



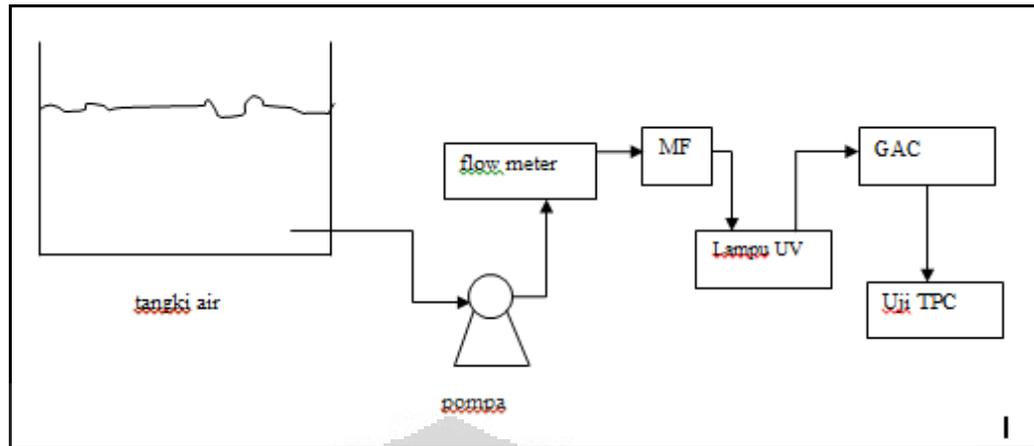
Gambar 3.11. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan sampel air keran pada sistem kontinyu

3. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV pada Air Sampel Keran

Prosedur percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel keran.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian mengaduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan lampu UV.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel pada tanki kontinyu ketika waktu disinfeksi kira-kira 5 menit (agar laju alir aliran stabil) dan stopwatch dimatikan.

Skema penelitian pada proses kontinyu dengan disinfektan sinar UV dan sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.12 berikut ini:



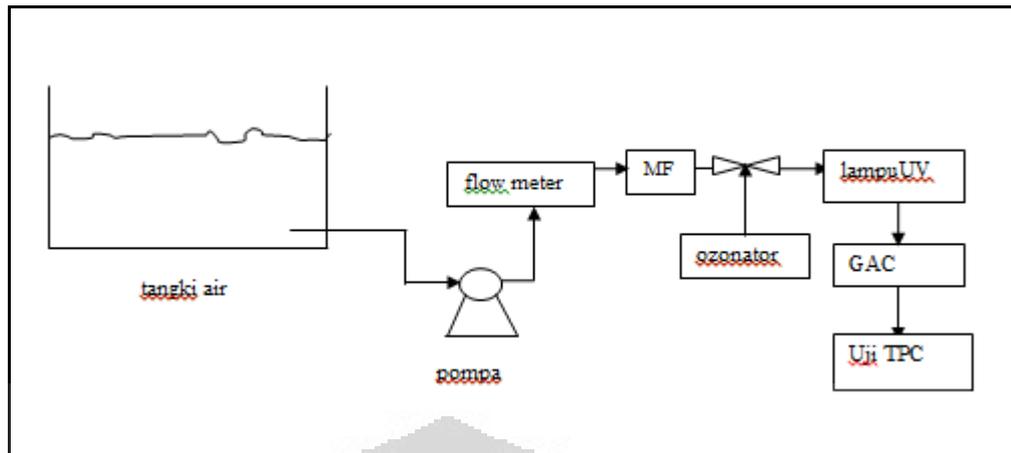
Gambar 3.12. Skema percobaan disinfeksi dengan lampu UV dan sampel air keran pada sistem kontinu

4. Disinfeksi Menggunakan Ozon dan Sinar UV pada Air Sampel Keran

Prosedur percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Isi tanki air sebanyak 4 L air sampel keran.
- b. Masukkan bakteri *E. coli* murni ke dalam 1 L air sampel kemudian aduk agar homogen. Selanjutnya masukkan ke dalam tanki yang sudah berisi 4 L air sampel, kemudian aduk kembali agar homogen.
- c. Ambil sampel awal dan masukkan ke dalam botol sampel yang telah disterilkan.
- d. Hidupkan lampu UV.
- e. Hidupkan pompa dengan laju alir 1,5 LPM.
- f. Hidupkan stopwatch bersamaan dengan kerangan yang untuk masuk ke sistem disinfeksi dibuka.
- g. Ambil sampel pada tanki kontinu ketika waktu disinfeksi kira-kira 5 menit (agar laju alir aliran stabil) dan stopwatch dimatikan.
- h. Lakukan prosedur no.a sampai dengan g untuk laju alir keluaran pompa 1 LPM dan 0,75 LPM.

Skema penelitian pada proses kontinu dengan disinfektan ozon dan sinar UV pada sampel air keran ditunjukkan pada Gambar 3.13 berikut ini:



Gambar 3.13. Skema percobaan disinfeksi dengan ozon dan UV dan sampel air keran pada sistem kontinyu

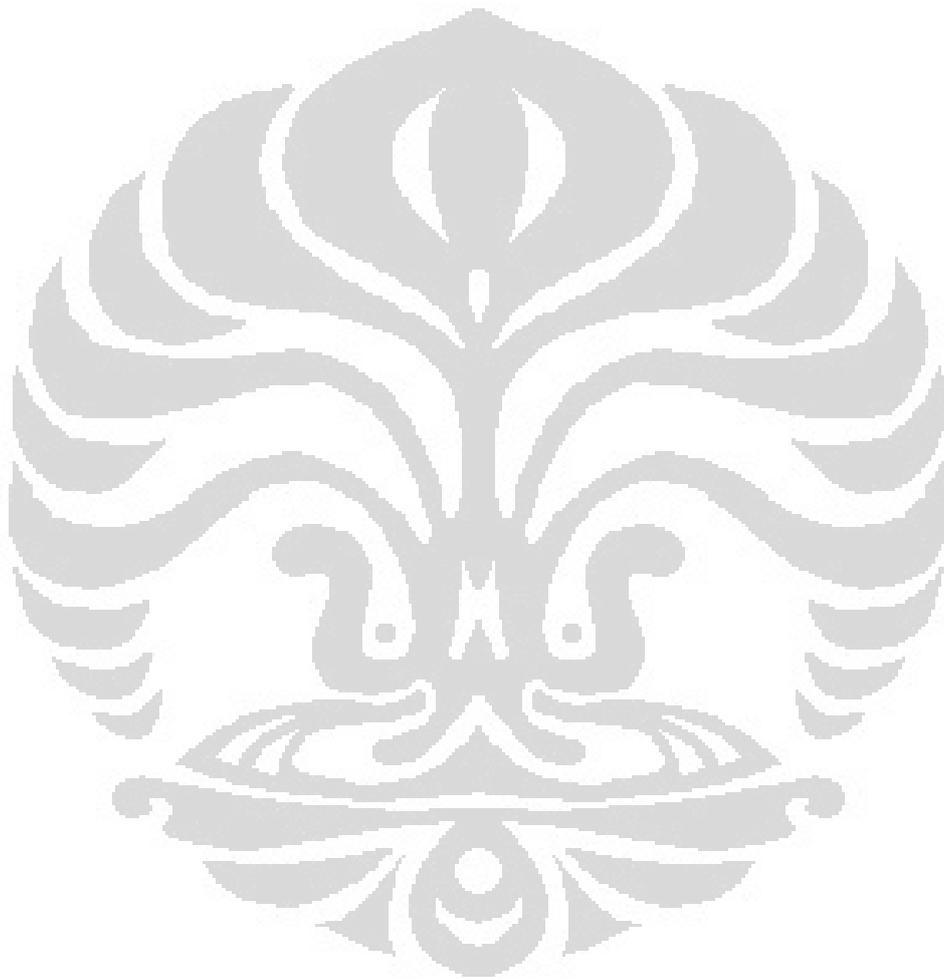
Semua sampel pada proses disinfeksi dianalisis di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.5.7. Uji Analisis Sampel

Sampel air sebelum dan sesudah didisinfeksi dengan menggunakan ozon dan atau sinar UV diambil untuk dianalisis dengan metode TPC. Adapun langkah-langkah analisisnya adalah sebagai berikut:

- Lakukan sterilisasi pada alat yang akan digunakan untuk metode TPC.
- Siapkan media *CCA* (*Chromocult coliform Agar*) yang ditempatkan pada cawan petri.
- Ambil larutan sampel yang akan diuji TPC sebanyak 1 mL kemudian membuat pengenceran ampel dari 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 , sampai dengan 10^5 .
- Inokulasikan (pindahkan) sampel yang telah diencerkan dengan menggunakan metode tuang (*pour plate*) ke dalam cawan petri yang telah berisi agar.
- Inkubasikan cawan petri tersebut pada suhu 30°C selama 24 – 48 jam dengan meletakkan cawan pada posisi terbalik.
- Hitung jumlah koloni yang ada pada cawan petri. Hitung jumlah bakteri per mL dengan rumus sebagai berikut (Modul Praktikum Mikrobiologi Lingkungan, 2009):

$$\sum \text{bakteri (CFU}_{/mL}) = \frac{\text{CFU}_{\text{plate}} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{volume inokulasi (ml)}} \quad (3.1)$$



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan proses disinfeksi dengan menggunakan ozon dan atau sinar UV, dengan menggunakan sampel air minum kemasan (AMDK) dan air keran. Telah dijelaskan pula bahwa penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) sistem aliran, yaitu sistem sirkulasi dan sistem kontinyu 1-lewatan (*one through*). Hasil-hasil penelitian dimaksud disajikan secara sistematis pada bab ini disertai dengan pembahasan mengenai data, tabel, ataupun kurva yang diperoleh.

4.1. Pengukuran Produk Ozonator

Pengukuran produk ozonator meliputi pengukuran laju alir dan produktivitas ozonator. Untuk mengukur laju alir ozon yang dikeluarkan oleh ozonator, penulis menggunakan *flowmeter* yang ada di Laboratorium Intensifikasi Proses Jurusan Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Angka yang terbaca pada *flowmeter* tersebut adalah sebesar 170 L/jam.

Pengukuran konsentrasi ozon yang dihasilkan oleh ozonator ini dengan menggunakan metode iodometri. Pada pengukuran konsentrasi ozon ini diambil data sebanyak dua kali (*duplo*). Data-data tersebut dapat dilihat pada bagian lampiran. Hasil dari pengukuran tersebut adalah konsentrasi ozon, yaitu sebesar 0,0325 g/jam atau 32,5 mg/jam.

4.2. Proses Disinfeksi

Proses disinfeksi ini dilakukan pada sampel AMDK dan air keran. Proses disinfeksi, baik dengan menggunakan sampel AMDK maupun air keran, dilakukan pada aliran sirkulasi dan aliran kontinyu 1-lewatan. Variasi yang digunakan pada proses disinfeksi ini adalah disinfeksi dengan menggunakan ozon, sinar UV, dan gabungan ozon dengan sinar UV. Untuk proses disinfeksi aliran sirkulasi, diterapkan pula variasi waktu disinfeksi, yaitu 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Sedangkan pada proses disinfeksi dalam aliran kontinyu 1-lewatan dengan menggunakan ozon dan sinar UV dengan sampel air keran, penulis juga

memvariasikan laju alir keluaran pompa, yaitu sebesar 0,75; 1; dan 1,5 LPM. Pada disinfeksi sampel air keran dengan menggunakan ozon saja dan sinar UV saja, penulis hanya menggunakan laju alir keluaran pompa 1,5 LPM. Kemudian pada proses disinfeksi dengan menggunakan air mineral kemasan (AMDK) hanya dilakukan disinfeksi dengan menggunakan sinar UV dan laju alir keluaran pompa 1,5 LPM.

Pada penelitian ini, jumlah bakteri akhir setelah proses disinfeksi diharapkan sama dengan nol, hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 yang mengatakan bahwa jumlah bakteri *E. coli* pada air minum harus sama dengan nol.

4.2.1. Proses Disinfeksi pada Sampel AMDK

Proses disinfeksi dengan menggunakan sampel AMDK dilakukan pada aliran sirkulasi dan aliran kontinyu 1-lewatan. Disinfektan yang digunakan adalah ozon, sinar UV, dan gabungan antara sinar UV dan ozon. Penjelasan mengenai hasil disinfeksi pada sampel AMDK akan dijelaskan pada bagian berikut:

4.2.1.1. Proses Disinfeksi pada AMDK dalam Aliran Sirkulasi

Pada proses disinfeksi sampel air AMDK dalam aliran sirkulasi ini, penulis menggunakan disinfektan ozon, sinar UV, dan gabungan keduanya.

a. Proses Disinfeksi dengan Menggunakan Ozon dalam Aliran Sirkulasi

Proses ozonasi yang terjadi pada AMDK adalah ozonasi langsung dan ozonasi tidak langsung karena pH AMDK sebesar 8,55 yang berada pada rentang pH 4-9. Hal ini berdasarkan literatur yang menyatakan bahwa perilaku ozon dipengaruhi oleh pH, di mana pada pH 4-9 ada kecenderungan ozon akan membentuk radikal OH dan juga tetap dalam molekul ozon (Peratitus, 2003). Pada ozonasi AMDK, yang berperan dalam menginaktivasi bakteri *E. coli* adalah ozon dan radikal OH.

Data yang diperoleh dari proses disinfeksi AMDK menggunakan ozon disajikan pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$1,21 \times 10^4$	98,79
5	$2,36 \times 10^4$	97,64
10	$8,00 \times 10^3$	99,20
15	$7,40 \times 10^3$	99,26
20	$5,50 \times 10^3$	99,45
25	$6,10 \times 10^3$	99,39
30	$6,10 \times 10^3$	99,39

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jumlah bakteri menurun secara signifikan pada menit ke-3. Namun, pada menit ke-5 jumlah bakteri mengalami sedikit kenaikan. Hal ini dapat disebabkan adanya *human error*, misalnya pada saat uji TPC pengadukan yang dilakukan pada sampel hasil disinfeksi pada menit ke-3 kurang homogen daripada menit ke-5. Hal tersebut dapat menyebabkan jumlah bakteri hasil TPC pada menit ke-3 lebih sedikit daripada menit ke-5. Seharusnya jumlah bakteri terus menurun sampai waktu disinfeksi 10 menit. Hal ini berdasarkan literatur yang menyatakan bahwa waktu disinfeksi yang efektif menggunakan ozon adalah 2 – 10 menit (Broadwater, 1973). Selanjutnya, untuk waktu disinfeksi dari menit ke-10 sampai dengan menit ke-30 jumlah bakteri mengalami penurunan. Hal ini disebabkan semakin lama sampel tersebut didisinfeksi maka jumlah bakterinya juga akan semakin sedikit. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan ozon mencapai 99,39%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ozon untuk disinfeksi sampel yang mengandung bakteri *Escherichia coli* cukup signifikan dalam degradasi bakteri tersebut.

b. Proses Disinfeksi dengan Menggunakan Sinar UV dalam Aliran Sirkulasi

Data yang diperoleh dari proses disinfeksi AMDK menggunakan sinar UV disajikan pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$1,88 \times 10^4$	98,12
5	$9,90 \times 10^3$	99,01
10	$1,61 \times 10^3$	99,839
15	$3,00 \times 10^2$	99,97
20	$8,00 \times 10^1$	99,992
25	$7,00 \times 10^1$	99,993
30	$3,00 \times 10^1$	99,997

Pada proses disinfeksi menggunakan sinar UV, panjang gelombang yang dapat efektif untuk menginaktivasi bakteri adalah 220 – 280 nm (Laroussi, 2003). Pada penelitian ini digunakan lampu UV-C dengan panjang gelombang 254 nm, di mana panjang gelombang tersebut berada pada rentang panjang yang efektif untuk menginaktivasi bakteri. Apabila radiasi sinar UV mengenai *deoxyribonucleic acid (DNA)* bakteri, dapat menyebabkan DNA tersebut rusak dan menghentikan reproduksi sel bakteri, di mana hal tersebut menyebabkan bakteri mati (Drew, 1996).

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri yang paling signifikan yaitu pada saat waktu disinfeksi sama dengan 3 menit. Kemudian dari menit ke-3 sampai dengan menit ke-30 jumlah bakteri terus mengalami penurunan, bahkan pada menit ke-30 jumlah bakteri yang tersisa tinggal 30 CFU/ml. Semakin lama waktu disinfeksi berarti semakin lama pula waktu kontak bakteri dengan disinfektan sehingga jumlah bakteri yang mati juga lebih banyak. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan sinar UV mencapai 99,997%. Hal ini menunjukkan bahwa disinfeksi AMDK menggunakan sinar UV memiliki pengaruh yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan disinfeksi menggunakan ozon.

c. Proses Disinfeksi Menggunakan Gabungan Ozon dan Sinar UV dalam Aliran Sirkulasi

Data yang diperoleh dari proses disinfeksi AMDK menggunakan ozon dan sinar UV disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3. Data hasil penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$1,63 \times 10^4$	98,37
5	$3,00 \times 10^3$	99,7
10	$1,40 \times 10^3$	99,86
15	$2,60 \times 10^2$	99,974
20	$1,70 \times 10^2$	99,983
25	$1,20 \times 10^2$	99,988
30	$7,00 \times 10^1$	99,993

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri yang paling signifikan adalah pada saat waktu disinfeksi sama dengan 3 menit. Kemudian dari menit ke-3 sampai dengan menit ke-30 jumlah bakteri terus mengalami penurunan yang cukup signifikan, bahkan pada menit ke-30 jumlah bakteri yang tersisa tinggal 70 CFU/ml. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan ozon dan sinar UV mencapai 99,993%.

Terdapat perbedaan hasil disinfeksi sampel air minum dalam kemasan (AMDK) menggunakan sinar UV dengan disinfeksi menggunakan gabungan ozon dan sinar UV. Adanya sinergi teknologi ozon dan sinar UV ini tampak pada menit ke-3 sampai dengan menit ke-15 yang dinyatakan dengan jumlah bakteri yang lebih sedikit setelah proses disinfeksi. Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.2 dapat kita lihat bahwa jumlah bakteri dari menit ke-3 sampai menit ke-15 untuk disinfeksi dengan ozon dan sinar UV lebih sedikit daripada disinfeksi yang hanya menggunakan sinar UV saja. Sedangkan pada menit ke-20 sampai ke-30 disinfeksi menggunakan sinar UV saja lebih unggul daripada yang menggunakan sinar UV dan ozon.

Hal ini dikarenakan setelah 15 menit, ozon menjadi kurang stabil dan keberadaannya semakin berkurang.

4.2.1.2. Proses Disinfeksi pada AMDK dalam Aliran Kontinyu 1-Lewatan

Pada proses disinfeksi sampel air AMDK dalam aliran kontinyu 1-lewatan ini, penulis menggunakan disinfektan sinar UV saja. Laju alir yang digunakan adalah 1,5 LPM. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 4.4:

Tabel 4.4. Data hasil disinfeksi dengan sinar UV dalam aliran kontinyu 1-lewatan

Kondisi Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
Awal	1×10^5
Akhir	0

Pada proses disinfeksi AMDK menggunakan sinar UV, jumlah bakteri yang tersisa adalah 0. Pada proses disinfeksi AMDK dalam aliran kontinyu 1-lewatan tidak harus menggunakan sinergi ozon dan sinar UV, hanya dengan sinar UV saja jumlah bakterinya sudah sama dengan 0.

4.2.2. Proses Disinfeksi pada Sampel Air Keran

Proses disinfeksi dengan menggunakan sampel air keran ini dilakukan pada aliran sirkulasi dan aliran kontinyu 1-lewatan. Disinfektan yang digunakan adalah ozon, sinar UV, dan gabungan antara sinar UV dan ozon. Penjelasan mengenai hasil disinfeksi pada sampel air keran dijelaskan pada bagian berikut:

4.2.2.1. Proses Disinfeksi pada Sampel Air Keran dalam Aliran Sirkulasi

Pada proses disinfeksi sampel air keran dalam aliran sirkulasi ini, penulis menggunakan disinfektan ozon, sinar UV, dan gabungan/sinergi ozon dan sinar UV.

a. Proses Disinfeksi Menggunakan Ozon dalam Aliran Sirkulasi

Proses ozonasi yang terjadi pada air keran adalah ozonasi langsung dan ozonasi tidak langsung karena pH air keran sebesar 7,66 yang berada pada rentang pH 4-9. Hal ini berdasarkan literatur yang menyatakan bahwa perilaku ozon dipengaruhi oleh pH, di mana pada pH 4-9 ada kecenderungan ozon akan membentuk radikal OH dan juga tetap dalam

molekul ozon (Peratitus, 2003). Pada ozonasi air keran, yang berperan dalam menginaktivasi bakteri *E. coli* adalah ozon dan radikal OH.

Data yang diperoleh pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon terhadap sampel air keran yang dikontaminasikan dengan bakteri *Escherichia coli* disajikan pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan ozon pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$2,05 \times 10^4$	97,95
5	$1,44 \times 10^4$	98,56
10	$2,26 \times 10^4$	97,74
15	$1,75 \times 10^4$	98,25
20	$1,71 \times 10^4$	98,29
25	$3,00 \times 10^4$	97,00
30	$1,37 \times 10^4$	98,63

Dari tabel di atas dapat dilihat jumlah bakteri menurun secara signifikan pada menit ke-3. Namun pada menit ke-10 jumlah bakteri mengalami kenaikan. Hal ini dapat disebabkan adanya *human error*, misalnya pada saat uji TPC pengadukan yang dilakukan pada sampel hasil disinfeksi sehingga dapat menyebabkan jumlah bakteri hasil TPC menjadi kurang akurat. Kemudian pada menit ke-15 dan ke-20 mengalami penurunan. Namun pada menit ke-25 mengalami kenaikan lagi dan kemudian pada menit ke-30 jumlah bakteri mengalami penurunan lagi. Jumlah sisa bakteri paling sedikit terjadi pada menit ke-30 yaitu berjumlah $1,37 \times 10^4$ CFU/ml. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan ozon mencapai 98,63%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ozon untuk disinfeksi sampel air keran yang mengandung bakteri *Escherichia coli* cukup signifikan dalam degradasi bakteri tersebut namun hasilnya lebih bagus pada sampel AMDK yaitu pada menit ke-30 jumlah bakteri sisa tinggal $6,10 \times 10^3$ CFU/ml.

b. Proses Disinfeksi Menggunakan Sinar UV dalam Aliran Sirkulasi

Data yang diperoleh pada proses disinfeksi menggunakan sinar UV terhadap sampel air keran disajikan pada Tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$1,09 \times 10^4$	98,91
5	$7,00 \times 10^3$	99,30
10	$1,30 \times 10^3$	99,87
15	$1,40 \times 10^2$	99,986
20	$4,00 \times 10^1$	99,996
25	$1,00 \times 10^1$	99,999
30	$6,00 \times 10^1$	99,994

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri yang paling signifikan yaitu pada saat waktu disinfeksi sama dengan 3 menit. Kemudian dari menit ke-3 sampai dengan menit ke-25 jumlah bakteri terus mengalami penurunan yang cukup signifikan, namun pada menit ke-30 jumlah bakteri sisa mengalami sedikit kenaikan yaitu pada menit ke-25 jumlah bakteri hanya 10 CFU/ml sedangkan pada menit ke-30 jumlah bakteri menjadi 60 CFU/ml. Hal ini dapat disebabkan adanya *human error*, misalnya pada saat uji TPC pengadukan yang dilakukan pada sampel hasil disinfeksi sehingga dapat menyebabkan jumlah bakteri hasil TPC menjadi kurang akurat. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan sinar UV mencapai 99,994%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sinar UV untuk disinfeksi sampel air keran yang mengandung bakteri *E.coli* lebih signifikan dalam degradasi bakteri tersebut jika dibandingkan dengan penggunaan ozon. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa sinar UV lebih efektif dalam proses disinfeksi sampel air keran.

c. Proses Disinfeksi Menggunakan Ozon dan Sinar UV dalam Aliran Sirkulasi

Data yang diperoleh pada proses disinfeksi dengan menggunakan ozon dan sinar UV terhadap sampel air keran yang dikontaminasikan dengan bakteri *Escherichia coli* disajikan pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Data hasil penelitian disinfeksi air keran dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
0	$1,00 \times 10^6$	0
3	$1,58 \times 10^4$	98,42
5	$1,34 \times 10^4$	98,66
10	$2,30 \times 10^2$	99,977
15	$4,30 \times 10^2$	99,957
20	$3,10 \times 10^2$	99,969
25	$2,00 \times 10^1$	99,998
30	0	100

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri yang paling signifikan yaitu pada saat waktu disinfeksi sama dengan 3 menit. Kemudian dari menit ke-3 sampai dengan menit ke-10 jumlah bakteri mengalami penurunan yang cukup signifikan, namun pada menit ke-15 jumlah bakteri mengalami kenaikan. Kenaikan tersebut dapat terjadi karena adanya *human error*, misalnya pada saat uji TPC pengadukan yang dilakukan pada sampel hasil disinfeksi sehingga dapat menyebabkan jumlah bakteri hasil TPC menjadi kurang akurat. Kemudian menit ke-20 sampai dengan menit ke-30 jumlah bakteri terus mengalami penurunan, bahkan pada menit ke-30 tidak ada bakteri yang tersisa. Berdasarkan data tersebut, degradasi bakteri *Escherichia coli* ketika disinfeksi dengan menggunakan ozon dan sinar UV sampai menit ke-30 mencapai 100%. Pada disinfeksi pada air keran yang mengandung bakteri *Escherichia coli* terjadi sinergi antara teknologi ozon dan sinar UV sehingga menghasilkan sampel yang jumlah bakteri *Escherichia coli* sama dengan 0. Hal tersebut menunjukkan bahwa sinergi ozon dan sinar UV dapat digunakan dalam

proses penyediaan air minum karena menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010.

4.2.2.2. Proses Disinfeksi pada Sampel Air Keran dalam Aliran Kontinyu 1-Lewatan

Pada proses disinfeksi sampel air keran dalam aliran kontinyu 1-lewatan, penulis menggunakan disinfektan ozon, sinar UV, dan gabungan/sinergi keduanya. Pada penelitian ini digunakan laju alir 1,5 LPM. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut ini:

Tabel 4.8. Data hasil disinfeksi pada aliran kontinyu 1-lewatan dan laju alir 1,5 LPM

Proses Disinfeksi	Jumlah Bakteri Awal (CFU/ml)	Jumlah Bakteri Akhir (CFU/ml)	% Degradasi Bakteri
Ozon	1×10^5	$3,6 \times 10^3$	96,40
Sinar UV	1×10^5	20	99,98
Ozon & Sinar UV	2×10^5	$6,40 \times 10^2$	99,68

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa penurunan jumlah bakteri setelah proses disinfeksi baik dengan menggunakan ozon saja, sinar UV saja, maupun gabungan ozon dan sinar UV dalam aliran kontinyu 1-lewatan cukup signifikan. Pengurangan jumlah bakteri setelah proses disinfeksi dengan ozon, sinar UV, dan gabungan ozon dan sinar UV adalah 96,4 %; 99,98%; dan 99,68%.

Pada proses disinfeksi sampel air keran dalam aliran kontinyu 1-lewatan, teknologi yang mampu mendegradasi bakteri paling banyak adalah sinar UV jika dibandingkan dengan ozon saja dan gabungan ozon dan sinar UV.

Berdasarkan hasil pada aliran sirkulasi, hasil yang paling optimal adalah proses disinfeksi dengan menggunakan gabungan ozon dan sinar UV, sehingga pada proses disinfeksi aliran kontinyu 1-lewatan dengan menggunakan ozon dan sinar UV menggunakan variasi laju alir keluaran pompa 0,75; 1; dan 1,5 LPM. Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.9. Data hasil disinfeksi dengan ozon dan sinar UV pada aliran kontinyu 1-lewatan

Laju Alir (LPM)	Waktu Paparan (menit)	Jumlah Bakteri Awal (CFU/ml)	Jumlah Bakteri Akhir (CFU/ml)	% Bakteri
1,5	0.89	2×10^5	$6,40 \times 10^2$	0,32
1	1.34	2×10^5	$5,60 \times 10^2$	0,28
0,75	1.78	2×10^5	$2,20 \times 10^2$	0,11

Pada Tabel 4.9. di atas dapat dilihat bahwa semakin besar laju alir keluaran pompa jumlah bakteri sisa semakin besar. Hal ini disebabkan karena laju alir keluaran pompa yang semakin besar berarti waktu tinggal sampel dalam aliran juga semakin sebentar sehingga waktu kontak disinfektan dengan bakteri juga semakin sebentar. Hal tersebut menyebabkan jumlah bakteri yang mati lebih sedikit.

BAB 5

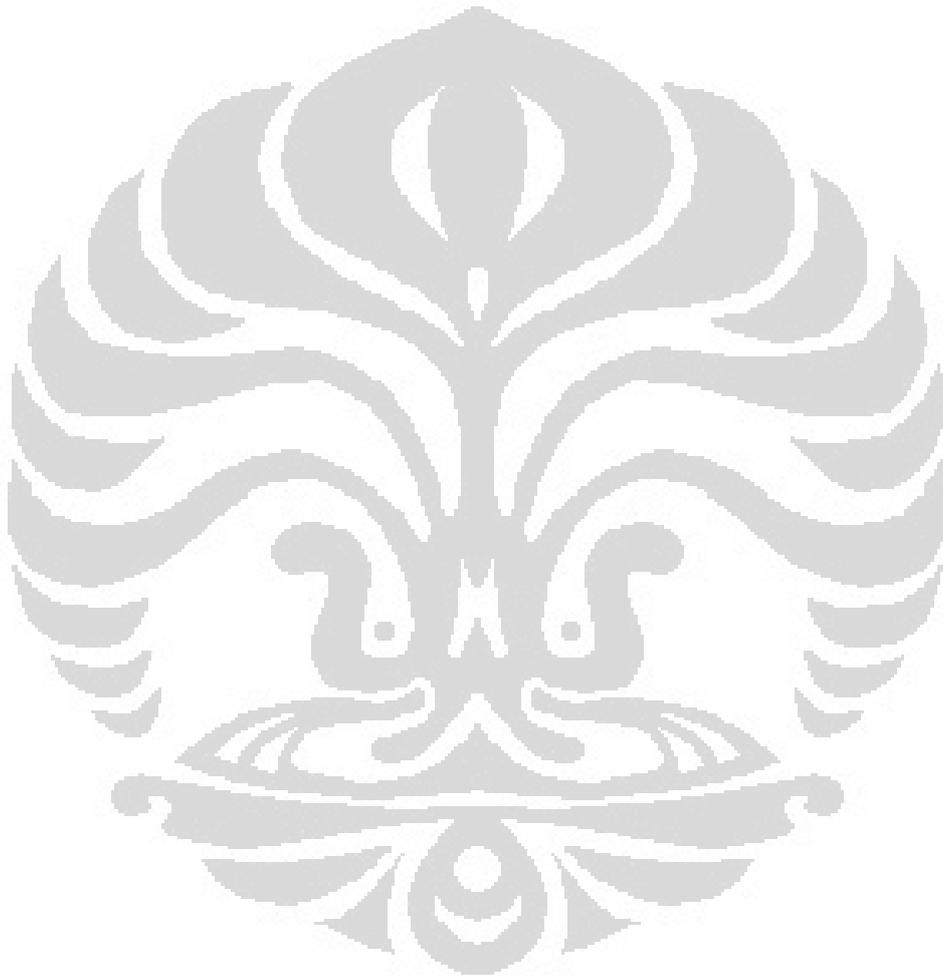
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Ozonator yang digunakan dalam penelitian ini memiliki produktivitas ozon sebesar 32,5 g/jam dan laju alir sebesar 170 L/jam.
2. Pada proses disinfeksi menggunakan disinfektan ozon dan sampel AMDK mampu mendegradasi bakteri sebanyak 99,39%.
3. Pada proses disinfeksi menggunakan disinfektan sinar UV dan sampel AMDK mampu mendegradasi bakteri sebanyak 99,997%.
4. Pada proses disinfeksi menggunakan disinfektan ozon dan sinar UV serta sampel yang digunakan adalah AMDK mampu mendegradasi bakteri sebanyak 99,993%.
5. Pada proses disinfeksi menggunakan disinfektan ozon dan sampel yang digunakan adalah air keran mampu mendegradasi bakteri sebanyak 98,63%.
6. Pada proses disinfeksi dengan menggunakan disinfektan sinar UV dan sampel yang digunakan adalah air keran mampu mendegradasi bakteri sebanyak 99,994%.
7. Pada proses disinfeksi dengan menggunakan disinfektan ozon dan sinar UV serta sampel yang digunakan adalah air keran mampu mendegradasi bakteri sebanyak 100%.
8. Waktu disinfeksi yang paling optimal dalam mendegradasi jumlah bakteri dalam sampel adalah 3 menit.
9. Pada aliran sirkulasi, proses yang paling optimal adalah proses disinfeksi sampel air keran yang mengandung bakteri *Escherichia coli* dengan menggunakan ozon dan sinar UV.
10. Pada aliran kontinyu 1-lewatan, proses yang paling optimal adalah proses disinfeksi sampel air AMDK yang mengandung bakteri *Escherichia coli* dengan menggunakan sinar UV.

5.2. Saran

1. Penelitian dilakukan pada tempat yang lebih steril untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kontaminasi yang terjadi pada sampel.
2. Menggunakan alat untuk menghomogenkan sampel yang akan diuji TPC.
3. Menggunakan ozonator yang lebih tinggi produktivitasnya agar pengurangan jumlah bakteri lebih signifikan lagi.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahira, A. (2011) "Mengenal Bakteri *Escherechia coli*".
- Ahira, A. (2012). <http://www.anneahira.com/bakteri-e-coli.htm>.
- Broadwater, W.T., Hoehn, R.C, and King, P.h., (1973), Sensitivity of Three Selected Bacterial Sepecies to Ozone, Virginia, American Society for Microbiology, Vol.26, no.3.
- Drew, D. (1996). "Modelling UV-Damage to E. coli Bacteria."
- Fardiaz, S. (1992). Mikrobiologi Pangan 1. Jakarta:Gramedia Pustaka Utama.
- Forum.upi.edu (2012). <http://forum.upi.edu/index.php?topic=15614.0>.
- Graham, P. P. N. (2005). "Treatment of a secondary municipal effluent by ozone, UV and microfiltration: microbial reduction and effect on effluent quality." *Journal of Desalination* 186 47-56.
- Gunten, U. V. 2003. Review Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation. *Water Research*, 37, 1443-1467.
- Halim, W. (2006). Disinfeksi Salmonella Typhimurium pada Air Tambak Udang dengan Menggunakan Ozon dan Sinar UV. Teknik Kimia. Depok, Universitas Indonesia S1.
- Healthdefine.com (2012). <http://healthdefine.com/medical-advice/e-coli-7-tips-so-youll-never-get-sick>.
- Homepage.usask.ca(2012).http://homepage.usask.ca/~vim458/virology/studpages2007/Chad_Jan_Amy/ecoli.html
- Inc, E. W. T. (2007) "Ultraviolet (UV) Disinfection."
- Kyu-Earn, J.-H. H. B. S. O. S.-Y. C. B.-C. K. M. H. S. and K. J.-W. Kangb (2006). "Killing Effect of Ozone on House Dust Mites, the Major Indoor Allergen of Allergic Disease." *Journal of Science and Engineering* 28 191–196.
- Laroussi, M. and F. Leipold (2003). "Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure." *International Journal of Mass Spectrometry* 233 81–86.

Long, B. W., Hlsey, R.A, and Neeman, J.J. (2005). "Mixing it up: Integrated Disinfection Scenarios in Drinking Water Treatment." Journal AWWA.

Metrotvnews.com (2011). <http://soccerclub0162.blogspot.com/2011/02/lebak-klb-diare.html>.

Modul Praktikum Mikrobiologi Lingkungan

Mohammad A.T. Alsheyaba*, A. H. M. (2007). "Optimisation of ozone production for water and wastewater treatment." *Journal of Desalination* 217 1–7.

N. Bernbom , B. F. V., L. Gram (2010). "Listeria monocytogenes survival of UV-C radiation is enhanced by presence of sodium chloride, organic food material and by bacterial biofilm formation." *International Journal of Food Microbiology* 147 69–73.

Peratitus (ed.) 2003. *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater System*, London: A CRC-Press.

Samir R. Fanous, P. A. *Effect of Ozone on Bacteria* [Online]. Available: <http://www.canadianglobalservices.com> [Accessed].

Suslow, T. V. (2004). *Ozone Applications for Postharvest Disinfection of Edible Horticultural Crops*, ANR Publication.

Waluyo, L. (2004). *Mikrobiologi Umum*. Malang, Universitas Muhamadiyah Malang.

Yeon Jung Jung, B. S. O., Joon-Wun Kang (2007). "Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of *Bacillus subtilis* spores." *Journal of Water Research* 42 1613–1621.

Yonkyu Choi, Y.-j. C. (2009). "The effects of UV disinfection on drinking water quality in distribution systems " *Journal of Water Research* 44 115-122: www.elsevier.com/locate/watres.

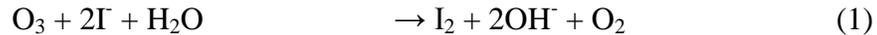
Yudo, S. (2010). "Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta Ditinjau dari Parameter Organik, Amoniak, Fosfat, Deterjen, dan Bakteri Coli."

JAI 6.

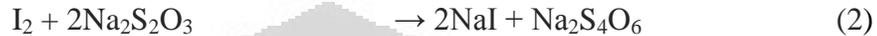
LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran kadar ozon dengan metode iodometri

Reaksi ozon dengan KI :



Pembebasan iodium menggunakan metode titrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:



Sehingga dari reaksi di atas diperoleh hubungan, yaitu 1 mol $\text{O}_3 \approx 2$ mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Prosedur perhitungan :

Diketahui $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0,005 \text{ M}$

- mmol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005 \text{ M}$

- mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005}{1000}$

- mol $\text{O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

- gram $\text{O}_3 = \text{mol} \times 48$

- produktivitas ozon = $\frac{\text{gr O}_3 \times 3600}{t}$

Perhitungan Hasil Penelitian:

Pengujian 1:

- mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(3,3 \times 8 + 0,3 \times 8) \times 0,005 \text{ M}}{1000}$

$$= 14,4 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

- mol $\text{O}_3 = \frac{1}{2} \times 14,4 \times 10^{-5} \text{ mol}$

$$= 7,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

- gram $\text{O}_3 = 7,2 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 48 \text{ gr/mol}$

$$= 3,456 \times 10^{-3} \text{ gram}$$

- produktivitas ozon = $3,456 \times 10^{-3} \text{ gram} \times \frac{3600 \text{ s/jam}}{377}$

$$= 0,033 \text{ g/jam}$$

$$= 33 \text{ mg/jam}$$

Pengujian 2:

- mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = $\frac{(3,2 \times 8 + 0,3 \times 8) \times 0,005 \text{ M}}{1000}$

$$= 14 \times 10^{-5} \text{ mol}$$
- mol O_3 = $\frac{1}{2} \times 14 \times 10^{-5} \text{ mol}$

$$= 7 \times 10^{-5} \text{ mol}$$
- gram O_3 = $7 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 48 \text{ gr/mol}$

$$= 3,36 \times 10^{-3} \text{ gram}$$
- produktivitas ozon = $3,36 \times 10^{-3} \text{ gram} \times \frac{3600 \text{ s/jam}}{376}$

$$= 0,032 \text{ g/jam}$$

$$= 32 \text{ mg/jam}$$

Produktivitas ozon rata-rata = $\frac{(0,033 + 0,032) \text{ g/jam}}{2}$

$$= 0,0325 \text{ g/jam}$$

$$= 32,5 \text{ mg/jam}$$

Lampiran 2. Data jumlah bakteri hasil proses disinfeksi



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
 Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISIS

No : PM. 01.04/V/2011
 Pengirim/Instansi : Ria Wulansarie
 Jenis Sampel : Sampel cair
 Pengujian : Analisis mikrobiologis
 Deskripsi Sampel : Pengambilan sampel dilakukan oleh pengirim
 Identifikasi Sampel : Bakteri yang dibiakan adalah *Escherichia coli*

1. Nama sampel : Air mineral disinfeksi dengan ozon

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	121×10^2
3.	Menit ke-5	236×10^2
4.	Menit ke-10	80×10^2
5.	Menit ke-15	74×10^2
6.	Menit ke-20	55×10^2
7.	Menit ke-25	61×10^2
8.	Menit ke-30	61×10^2

2. Nama Sampel : Air mineral disinfeksi dengan Sinar UV

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	188×10^2
3.	Menit ke-5	99×10^2
4.	Menit ke-10	$16,1 \times 10^2$
5.	Menit ke-15	3×10^2
6.	Menit ke-20	8×10^1
7.	Menit ke-25	7×10^1
8.	Menit ke-30	3×10^1

dijad diakh

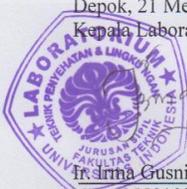
Catatan:

Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan (TPL) hanya memeriksa jumlah bakteri dalam sampel air yang sudah didesinfeksi.

Depok, 21 Mei 2012
 Kepala Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniani, MSc.
 NIP.195501031985032001





UNIVERSITAS INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
 Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISIS

No : PM. 01.04/V/2011
 Pengirim/Instansi : Ria Wulansarie
 Jenis Sampel : Sampel cair
 Pengujian : Analisis mikrobiologis
 Deskripsi Sampel : Pengambilan sampel dilakukan oleh pengirim
 Identifikasi Sampel : Bakteri yang dibiakan adalah *Escherichia coli*

1. Nama sampel : Air mineral desinfeksi dengan ozon dan sinar UV

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	163×10^2
3.	Menit ke-5	30×10^2
4.	Menit ke-10	14×10^2
5.	Menit ke-15	26×10^1
6.	Menit ke-20	17×10^1
7.	Menit ke-25	12×10^1
8.	Menit ke-30	7×10^1

2. Nama Sampel : Air keran desinfeksi dengan Ozon

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	205×10^2
3.	Menit ke-5	144×10^2
4.	Menit ke-10	226×10^2
5.	Menit ke-15	175×10^2
6.	Menit ke-20	171×10^2
7.	Menit ke-25	300×10^2
8.	Menit ke-30	137×10^2

Hand diah

Catatan:

Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan (TPL) hanya memeriksa jumlah bakteri dalam sampel air yang sudah didesinfeksi.

Depok, 21 Mei 2012
 Kepala Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan



H. Irma Gusniani, MSc.
 NIP.195501031985032001



UNIVERSITAS INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
 Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISIS

No : PM. 01.04/V/2011
 Pengirim/Instansi : Ria Wulansarie
 Jenis Sampel : Sampel cair
 Pengujian : Analisis mikrobiologis
 Deskripsi Sampel : Pengambilan sampel dilakukan oleh pengirim
 Identifikasi Sampel : Bakteri yang dibiakan adalah *Escherichia coli*

1. Nama sampel : Air Keran desinfeksi dengan sinar UV

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	109×10^2
3.	Menit ke-5	70×10^2
4.	Menit ke-10	13×10^2
5.	Menit ke-15	14×10^1
6.	Menit ke-20	4×10^1
7.	Menit ke-25	10^1
8.	Menit ke-30	6×10^1

2. Nama Sampel : Air keran desinfeksi dengan Ozon dan sinar UV

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Menit ke-0	10×10^6
2.	Menit ke-3	158×10^2
3.	Menit ke-5	134×10^2
4.	Menit ke-10	23×10^1
5.	Menit ke-15	43×10^1
6.	Menit ke-20	31×10^1
7.	Menit ke-25	2×10^1
8.	Menit ke-30	0

did, diah

Catatan:

Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan (TPL) hanya memeriksa jumlah bakteri dalam sampel air yang sudah didesinfeksi.

Depok, 21 Mei 2012
 Kepala Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan


 Ir. Irma Gusniani, MSc.
 NIP.195501031985032001



UNIVERSITAS INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
 Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISIS

No : PM. 01.04/V/2011
 Pengirim/Instansi : Ria Wulansarie
 Jenis Sampel : Sampel cair
 Pengujian : Analisis mikrobiologis
 Deskripsi Sampel : Pengambilan sampel dilakukan oleh pengirim
 Identifikasi Sampel : Bakteri yang dibiakan adalah *Escherichia coli*

1. Nama sampel : Proses Kontinyu (Air Keran)

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Desinfeksi dengan ozon	36×10^2
2.	Desinfeksi dengan sinar UV	2×10^1
3.	Desinfeksi dengan ozon dan sinar UV Laju alir (1.5 L/menit)	64×10^1
4.	Desinfeksi dengan ozon dan sinar UV Laju alir (1 L/menit)	56×10^1
5.	Desinfeksi dengan ozon dan sinar UV Laju alir (0.75 L/menit)	22×10^1

2. Nama Sampel : Proses kontinyu (Air Mineral)

No.	Sampel	Jumlah Bakteri (CFU/mL)
1.	Desinfeksi dengan sinar UV laju alir (1.5 L/menit)	0

Catatan:

Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan (TPL) hanya memeriksa jumlah bakteri dalam sampel air yang sudah didesinfeksi.

Depok, 21 Mei 2012
 Kepala Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Irma Gusniani
 Ir. Irma Gusniani, MSc.
 NIP.195501031985032001

Lampiran 3. Data Penelitian

Tabel L.1. Data penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	27
3	1,5	2	27
5	1,5	2	27
10	1,5	2	27
15	1,5	2	28
20	1,5	2	28
25	1,5	2	28
30	1,5	2	28

Tabel L.2. Data penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	29
3	1,5	2	29
5	1,5	2	29,5
10	1,75	2	29,5
15	1,75	2	29,5
20	1,75	2	30
25	1,75	2	30
30	1,75	2	30

Tabel L.3. Data penelitian disinfeksi sampel air AMDK dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	27
3	1,5	2	27
5	1,5	2	28
10	1,5	2	28,5
15	1,5	2	28,5
20	1,5	2	29
25	1,5	2	29
30	1,5	2	29

Tabel L.4. Data penelitian disinfeksi air keran dengan ozon pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	28
3	1	1,5	28
5	1	1,5	28
10	1	1,5	28
15	1	1,5	28,5
20	1	1,5	29
25	1	1,5	29
30	1	1,5	29

Tabel L.5. Data penelitian disinfeksi air keran dengan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	28
3	1	1,5	28
5	1	1,5	28,5
10	1	1,5	29
15	1	1,5	29
20	1	1,5	29
25	1	1,5	29
30	1	1,5	29

Tabel L.6. Data penelitian disinfeksi air keran dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi

Variasi waktu disinfeksi (menit)	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0	0	0	29
3	1	1,5	29
5	1	1,5	29
10	1	1,5	29,5
15	1	1,5	29,5
20	1	1,5	29,5
25	1	1,5	29,5
30	1	1,5	29,5

Tabel L.7. Data penelitian disinfeksi air keran dengan ozon pada aliran kontinu 1-lewatan

Laju Alir (LPM)	Kondisi	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
1,5	Awal	0	0	29
	Akhir	1	1,5	29

Tabel L.8. Data penelitian disinfeksi air keran dengan sinar UV pada aliran kontinu 1-lewatan

Laju Alir (LPM)	Kondisi	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
1,5	Awal	0	0	29
	Akhir	1	1,5	29

Tabel L.9. Data penelitian disinfeksi air keran dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi

Laju Alir (LPM)	Kondisi	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
0,75	Awal	0	0	28,5
	Akhir	1	1,5	28,5
1	Awal	0	0	28,5
	Akhir	1	1,5	28,5
1,5	Awal	0	0	28,5
	Akhir	1	1,5	28,5

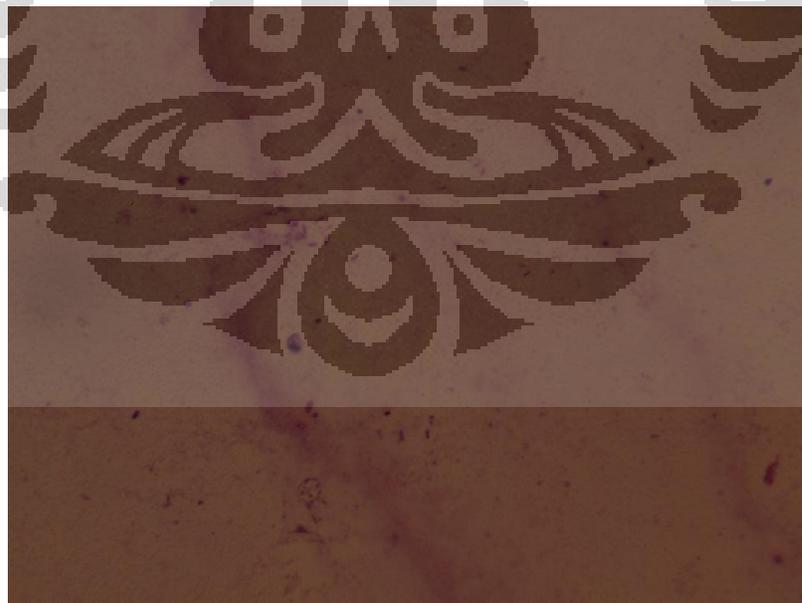
Tabel L.10. Data penelitian disinfeksi air AMDK dengan sinar UV pada aliran kontinu 1-lewatan

Laju Alir (LPM)	Kondisi	P_{in} (kg/cm ²)	P_{out} (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
1,5	Awal	0	0	28
	Akhir	1	1,5	28

Lampiran 4. Foto Bakteri pada Penelitian



Gambar 1. Foto sampel awal air AMDK pada proses disinfeksi dengan ozon pada aliran sirkulasi



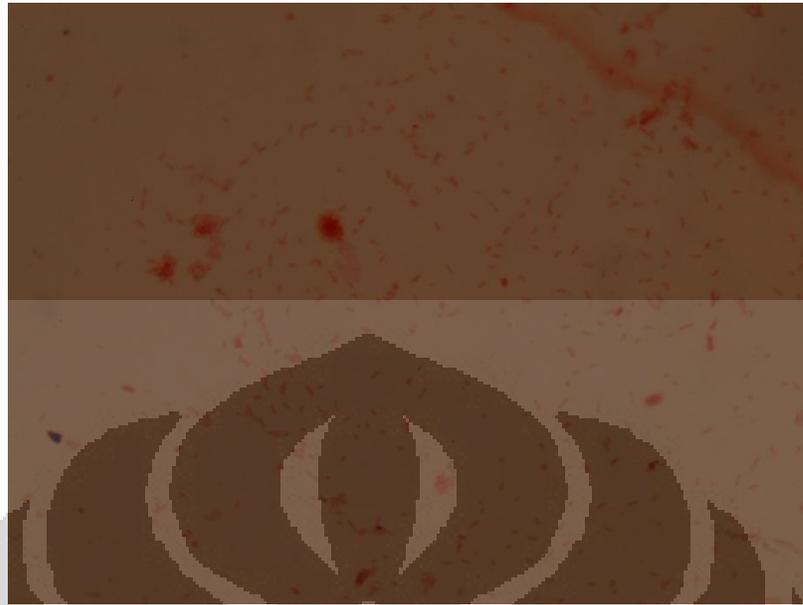
Gambar 2. Foto sampel air AMDK setelah proses disinfeksi dengan ozon pada aliran sirkulasi selama 30 menit



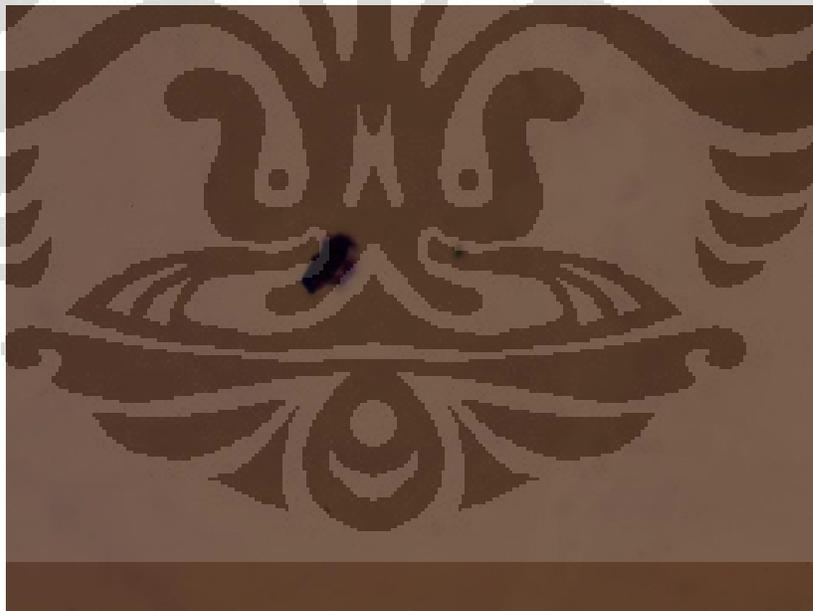
Gambar 3. Foto sampel awal air AMDK pada proses disinfeksi dengan sinar UV pada aliran sirkulasi



Gambar 4. Foto sampel air AMDK setelah proses disinfeksi dengan sinar UV pada aliran sirkulasi selama 30 menit



Gambar 5. Foto sampel awal air AMDK pada proses disinfeksi dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi



Gambar 6. Foto sampel air AMDK setelah proses disinfeksi dengan ozon dan sinar UV pada aliran sirkulasi selama 30 menit