



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UJI DISINFEKSI BAKTERI *ESCHERICHIA COLI*  
MENGUNAKAN KAVITASI *WATER JET***

**SKRIPSI**

**MERRY DWI ANGGRAENI  
0806456726**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UJI DISINFEKSI BAKTERI *ESCHERICHIA COLI*  
MENGUNAKAN KAVITASI *WATER JET***

**SKRIPSI**

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

**MERRY DWI ANGGRAENI  
0806456726**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI 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 :Merry Dwi Anggraeni**

**NPM :0806456726**

**Tanda Tangan:** 

**Tanggal :2 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Merry Dwi Anggraeni

NPM : 0806456726

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Uji Disinfeksi Bakteri *Escherichia coli* Menggunakan Kavitas Water Jet

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Eva Fathul Karamah S.T.,M.T.

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

Penguji : Ir. Yuliusman, M.Eng

Penguji : Drh. Usamah Afiff, Msc



(Dus)

(S)

(Y)

(U)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, zat Maha Kuasa yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan karuniaNya kepada hambahambaNya dengan ridhoNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan sebaik baiknya. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Skripsi dengan judul '**Uji Disinfeksi Bakteri *Escherichia Coli* Menggunakan Kavitas *Water Jet***' ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia. Selama proses penyusunan laporan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan masukan maupun bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

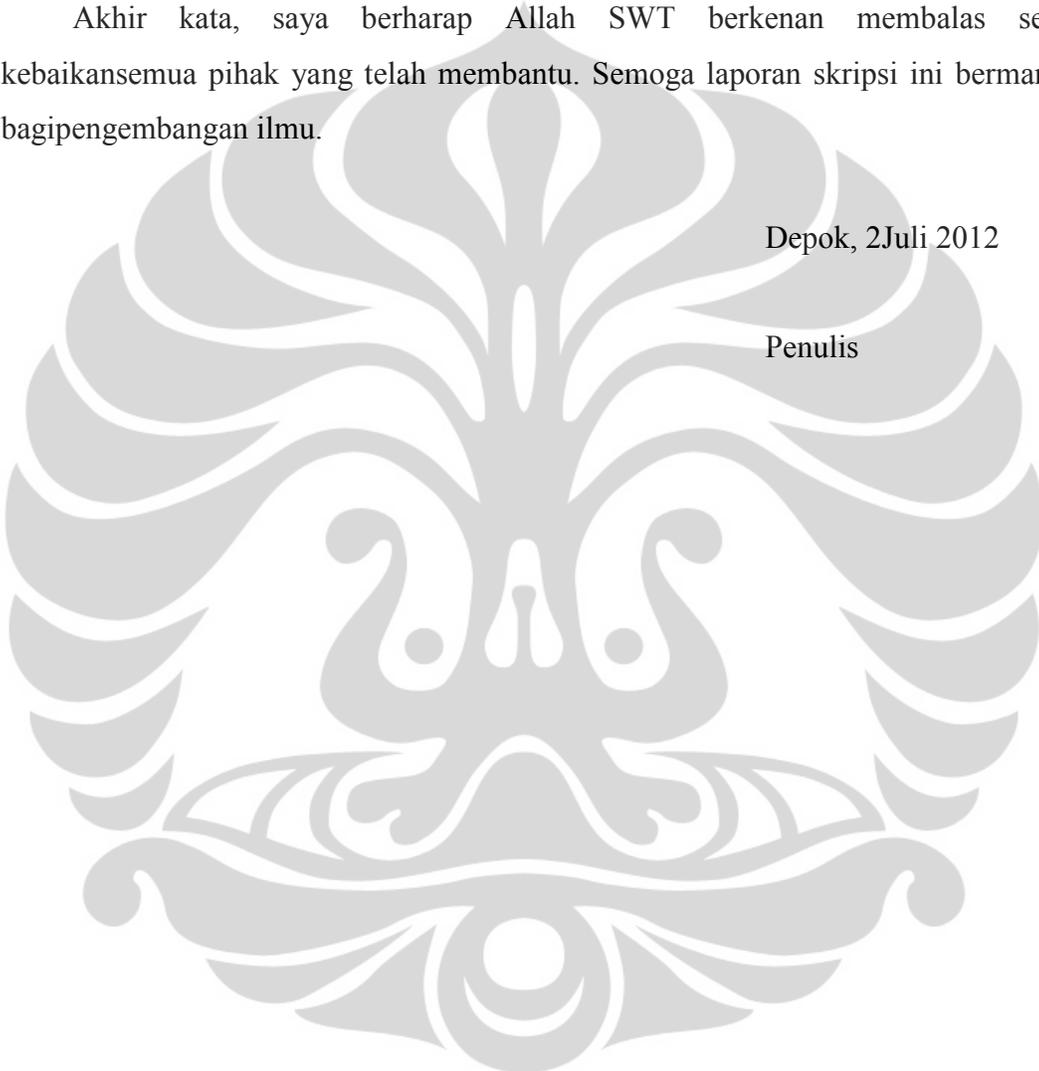
1. Ibu Eva Fathul Karamah S.T.,M.T atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator mata kuliah skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA selaku kepala laboratorium intensifikasi proses yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
5. Seluruh pengajar dan civitas Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
6. Keluarga yang sangat penulis kasihi, ibu, bapak, kakak, serta Dipo A Santiko yang memberikan dukungan materi dan moril, berupa kasih sayang, semangat, perhatian maupun doa.
7. Dipo A Santiko dan Indika Sunarko atas bantuan dan kerjasamanya dalam melakukan penelitian ini.

8. Mahasiswa Departemen Teknik Kimia UI angkatan 2008 yang telah memberikan saran, waktu, bantuan dan semangat kepada penulis.
9. Semua pihak lain yang belum disebutkan, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu penulis.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 2 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 : Merry Dwi Anggraeni  
NPM : 0806456726  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**Uji Disinfeksi Bakteri *Escherichia coli* Menggunakan Kavitas *Water Jet***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/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 : 2 Juli 2011

Yang menyatakan



( Merry Dwi Anggraeni )

## ABSTRAK

Nama : Merry Dwi Anggraeni  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Uji disinfeksi bakteri *Escherichia coli* menggunakan kavitas *water jet*

Salah satu indikator pencemaran air adalah bakteri *Escherichia coli*. Disinfeksi secara kimiawi menggunakan klor paling banyak digunakan, namun memiliki kekurangan yaitu menghasilkan senyawa halogen organik yang bersifat racun. Proses fisika menggunakan sinar UV yang terbatas pada penyebaran cahaya serta biaya yang lebih mahal juga telah diteliti. Kavitas dapat menjadi salah satu alternatif proses disinfeksi bakteri *E.coli*. Kavitas bertindak sebagai biosida lewat senyawa kimia melalui pembangkitan radikal OH dan melalui mekanisme fisik. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa kavitas *water jet* dapat mengurangi konsentrasi *E.coli* hingga 99,99%.

Kata kunci:

Bakteri *E.coli*, disinfeksi, kavitas hidrodinamika, *water jet cavitation*

## ABSTRACT

Name : Merry Dwi Anggraeni  
Study Program: Chemical Engineering  
Title : Disinfection of *Escherichia coli* with water jet cavitation

One of indicator in water pollution is *Escherichia coli* bacterium. Disinfection using chlorine is the most widely used, but has the disadvantage that generates an organic halogen compounds which are toxic. Physical processes using UV light that is limited in light scattering and more expensive also been investigated. Cavitation can be an alternative disinfection of *E. coli*. Cavitation by acting as a biocide chemical compounds through the generation of OH radicals and through physical mechanisms. From the research that has been done known that the water jet cavitation can reduce *E. coli* concentrations of 99.99%.

Key words:

*E.coli*, disinfection, hydrodynamic cavitation, water jet cavitation

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SEMINAR .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Batasan Masalah .....	5
1.5. Metode Operasional Penelitian .....	5
1.6. Sistematika Penulisan .....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1. <i>Escherichia Coli</i> .....	7
2.2. Kavitasi Hidrodinamika .....	9
2.3. <i>Water jet Injector</i> .....	12
2.4. Disinfeksi <i>E.coli</i> .....	14
2.5. Total Plte Count (TPC) .....	16
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	21
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.2.1. Alat .....	22
3.2.2. Bahan .....	24
3.3. Variabel Penelitian .....	24
3.4. Rancangan Penelitian .....	25

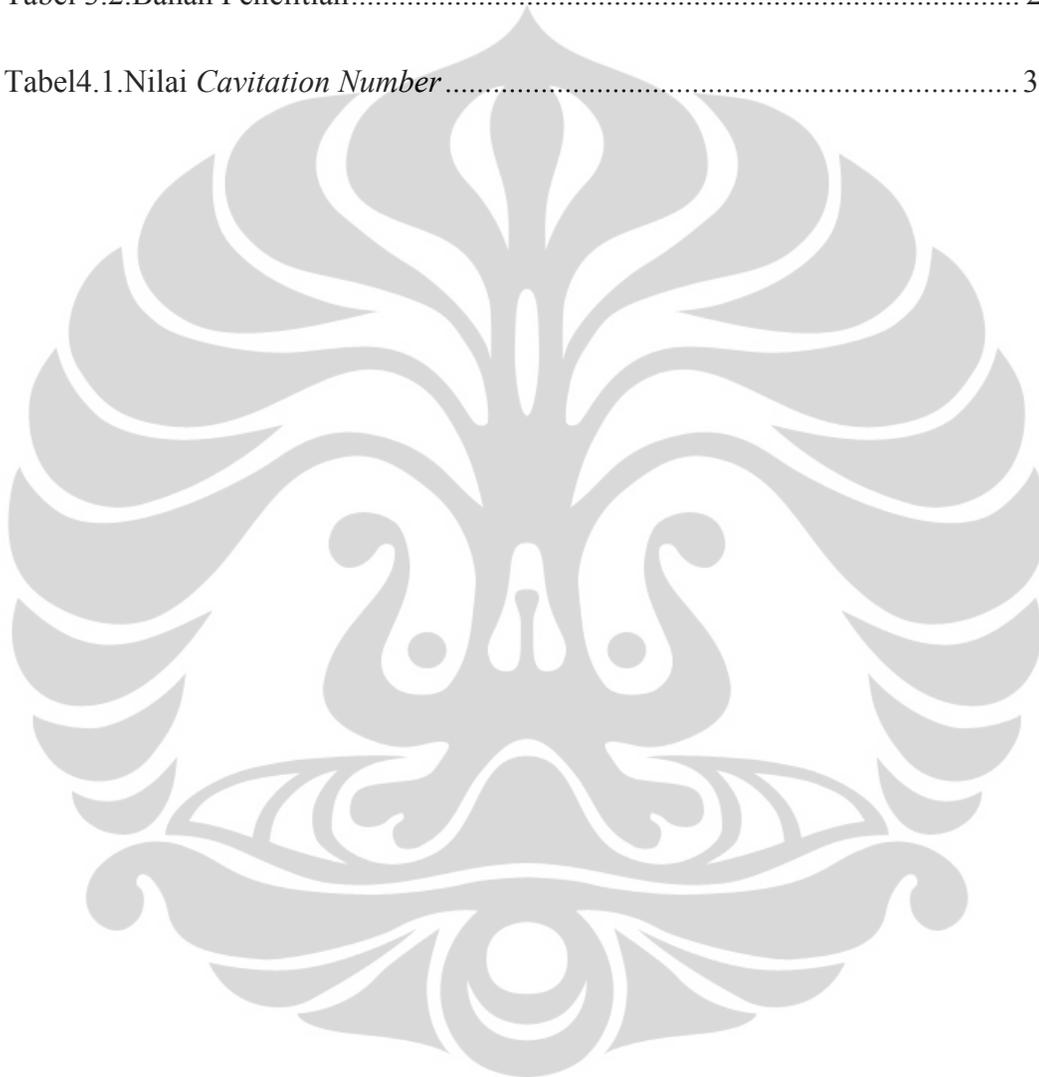
3.5. Prosedur Penelitian.....	25
3.5.1. Pembuatan Rangkaian Peralatan.....	25
3.5.2. Pembuatan Larutan Induk <i>E.coli</i> .....	26
3.5.3. Uji Sirkulasi Air yang Terkontaminasi <i>E.coli</i> .....	27
3.5.4. Disinfeksi Bakteri <i>E.coli</i> Melalui Proses Kavitasi <i>Water Jet</i> dengan Variasi Laju Alir.....	27
3.5.5. Disinfeksi Bakteri <i>E.coli</i> Melalui Proses Kavitasi <i>Water Jet</i> dengan Variasi Konsentrasi Awal Bakteri <i>E.coli</i> .....	28
3.5.6. Disinfeksi Bakteri <i>E.coli</i> Melalui Proses Kavitasi <i>Water Jet</i> dengan Laju Alir dan Konsentrasi Optimal Tanpa Menggunakan Pendingin.....	29
3.6. Analisis Sampel.....	29
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1. Uji Sirkulasi.....	32
4.2. Variasi Laju Alir.....	35
4.3. Variasi Konsentrasi Awal <i>E.coli</i> .....	42
4.4. Pengaruh Pendingin.....	45
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>48</b>
5.1. Kesimpulan.....	48
4.4. Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk Fisiologis Bakteri <i>E. coli</i> .....	8
Gambar 2.2. Fenomena Kavitasasi pada Venturi .....	11
Gambar 2.3. <i>Water Jet Injector</i> .....	13
Gambar 2.4. Metode <i>Spread Plate</i> .....	18
Gambar 2.5. Metode <i>Pour Plate</i> .....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2. Rancangan Alat Penelitian.....	22
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Konsentrasi <i>E. coli</i> dan Waktu pada Uji Sirkulasi	33
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Suhu dan Waktu pada Uji Sirkulasi.....	34
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Konsentrasi <i>E. coli</i> terhadap Waktu pada Variasi Laju Alir.....	35
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Suhu terhadap Waktu pada Variasi Laju Alir.....	38
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Konsentrasi <i>E. coli</i> terhadap Waktu pada Variasi Konsentrasi Awal <i>E. coli</i> .....	42
Gambar 4.6. Foto Bakteri <i>E. coli</i> Menggunakan Mikroskop dengan Perbesaran 1200 Kali Sebelum (a) dan Sesudah Disinfeksi (b) .....	44
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Waktu dan Konsentrasi <i>E. coli</i> pada Proses Disinfeksi Dengan dan Tanpa Menggunakan Pendingin.....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel3.1.Alat Penelitian.....	23
Tabel 3.2.Bahan Penelitian.....	24
Tabel4.1.Nilai <i>Cavitation Number</i> .....	39



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan dasar setiap manusia. Untuk pemenuhan kebutuhan tersebut, manusia atau masyarakat memiliki berbagai alternatif antara lain membeli dari perusahaan penyedia air bersih ataupun beralih kepada pengambilan air dari bawah tanah. Melalui kedua alternatif tersebut diharapkan air yang didapatkan sudah layak untuk digunakan sesuai dengan peruntukannya. Akan tetapi kondisi yang ada di Indonesia khususnya Jakarta saat ini dimana kepadatan penduduknya sangat tinggi berbalik dengan kurangnya kesadaran akan lingkungan dan kesehatan, menyebabkan beberapa permasalahan lingkungan yang berdampak pada pencemaran air. Pencemaran air oleh bakteri *Escherichia coli* atau biasa disebut *E.coli* baik pada air tanah maupun air sungai sudah dibuktikan oleh berbagai sumber. Wahana lingkungan hidup Indonesia (Walhi) menyatakan, 90 persen lebih air di Jakarta tercemar bakteri *Escherichia coli* (Riadi, 2011). Selain itu Kepala Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan Program Pascasarjana UI Setyo Sarwanto Moersidik menyatakan 80 hingga 90 persen air tanah dangkal di Jakarta tercemar bakteri pencernaan atau *E.coli*.

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI nomor 452 tahun 2010, standar air minum harus nol dari *E.coli*. Sedangkan untuk air bersih perpipaan maksimal kurang dari 10 mpn (*most probable number*). Kemudian untuk air bersih bukan perpipaan maksimal kurang dari 50 mpn.

Bakteri *E. coli* adalah bakteri yang paling banyak digunakan sebagai indikator sanitasi karena bakteri ini adalah bakteri komensal pada usus manusia, umumnya merupakan patogen penyebab penyakit dan relatif tahan hidup di air sehingga dapat dianalisis keberadaannya di dalam air yang sebenarnya bukan merupakan medium

yang ideal untuk pertumbuhan bakteri. *E.coli* dapat dipindahsebarakan melalui air yang tercemar tinja atau air seni orang yang menderita infeksi pencernaan, sehingga dapat menular pada orang lain. Infeksi yang timbul pada pencernaan akibat dari serangan bakteri *E.coli* pada dinding usus menimbulkan gerakan larutan dalam jumlah besar dan merusak kesetimbangan elektrolit dalam membran mucus. Hal ini dapat menyebabkan penyerapan air pada dinding usus berkurang dan terjadi diare (Pelczar dan Chan, 1988).

Diare merupakan penyakit kedua terbanyak di seluruh dunia setelah infeksi saluran pernapasan akut. Di Asia, Afrika, dan Amerika Latin selain merupakan penyebab utama morbiditas, diperkirakan 1 (satu) miliar kasus per tahun, setiap tahunnya 500 juta kasus diare akut terjadi pada anak-anak di bawah usia 5 (lima) tahun, dan juga merupakan penyebab utama mortalitas pada anak-anak (5 juta diantaranya) (Woodruff, 1984). Karena berbagai kerugian yang ditimbulkannya, maka perlu dilakukan proses disinfeksi bakteri *E.coli* ini pada air yang telah tercemar sebelum dapat digunakan oleh masyarakat.

Disinfeksi merupakan tindakan membunuh organisme patogen (kecuali spora kuman) dengan cara fisik maupun kimia yang dilakukan terhadap medium yang bukan merupakan makhluk hidup. Sampai saat ini khususnya di Indonesia disinfeksi secara kimiawi dengan menggunakan senyawa klorin paling banyak digunakan. Pemilihan senyawa klorin selain karena efektif dalam mereduksi bakteri, murah dan tidak memerlukan biaya yang mahal dalam penggunaannya. Namun metode ini masih memiliki kekurangan dimana senyawa klorin yang digunakan akan mengalami reaksi klorinasi yang memberikan hasil samping berupa senyawa halogen organik yang mempunyai efek bersifat racun bagi manusia, misalnya efek karsinogenik, berkurangnya kemampuan dalam reproduksi, teratogenik, rusaknya organ-organ spesifik misalnya ginjal dan sistem syaraf serta kerusakan pada sistem haemolytic (Bryant, 1992)

Dari kekurangan yang dimiliki oleh proses disinfeksi dengan senyawa klorin tersebut maka dibutuhkan suatu teknologi baru dalam proses disinfeksi. Hasil samping dari reaksi menggunakan senyawa kimia dalam proses disinfeksi membuat para peneliti beralih pada proses fisika dengan menggunakan sinar ultraviolet (UV), yang terbatas pada penyebaran cahaya (Parker, 1995), penyerapan pada larutan (Harris, 1987) atau pada mikroorganisme yang mampu memperbaiki diri (*photoreactivation*) (Harris, 1987). Di sisi lain, teknologi fisik cenderung lebih mahal, dan teknik berbasis UV ini tidak efisien ketika terdapat kekeruhan atau pewarna karena efek menghambat yang menginaktivasi atau mengurangi efisiensi radiasi. Partikel halus seperti tanah liat biasanya dihilangkan dengan flokulasi menggunakan bahan kimia seperti aluminium sulfat. Flocs dapat menjebak bakteri dan sporanya melindungi bakteri tersebut dari klorinasi. Sebagian besar partikel floc dihilangkan, tapi satu atau dua dapat melewati sistem dan tidak dipengaruhi oleh tahap disinfeksi akhir. Oleh karena itulah terdapat kebutuhan untuk mengembangkan beberapa teknik alternatif untuk disinfeksi air.

Disinfeksi dengan menggunakan gelombang ultrasonik mulai dikembangkan sebagai disinfektan alternatif. Gelombang ultrasonik dengan intensitas tinggi mempunyai kemampuan untuk memecahkan sel bakteri melalui proses kavitasi, tanpa meninggalkan zat yang bersifat toksik pada air hasil disinfeksi. Kavitasi didefinisikan sebagai fenomena pembentukan, pertumbuhan, dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Jika fenomena tersebut terjadi karena adanya gelombang suara dengan frekuensi tinggi pada suatu aliran disebut kavitasi akustik (ultrasonikasi), dan jika terjadi akibat variasi tekanan pada cairan yang mengalir akibat perubahan geometri pada sistem yang mengalir, maka disebut sebagai kavitasi hidrodinamik (Jyoti dan Pandit, 2004).

Kavitasi bertindak sebagai biosida (*biocide*) lewat senyawa kimia (pembangkitan radikal OH (P. Riesz, 1992)) dan melalui mekanisme fisik (*shock waves, pressure gradients, shear forces* (C.V. Eiff, 2000)). Mekanisme utama tergantung pada proses kavitasi. Frekuensi rendah cenderung menghasilkan pecahan

yang lebih keras, menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) yang kuat dan reaksi fase gas, tetapi jumlah pecahan yang rendah per satuan waktu mengurangi kecepatan reaksi kimia dan difusi radikal OH, terutama dalam fase cair. Di sisi lain, frekuensi tinggi menghasilkan gelembung-gelembung kecil dan kurang energik, tetapi juga memperbaiki difusi radikal OH dan menghasilkan jumlah pecahan yang lebih tinggi per satuan waktu.

Kavitasi hidrodinamik (HC) juga telah diteliti untuk tujuan disinfeksi. Simpan et al pertama mengamati perusakan terhadap sel ragi menggunakan HC. Menurut beberapa penulis efisiensi energy perusakan sel pada kavitasi hidrodinamik setidaknya lebih besar satu tingkat di atas beberapa teknik fisik yang sudah ada seperti metode *mixer-blender*, *high pressure homogenizers* dan bahkan kavitasi ultrasonic (UC) (B. Balasundaram, 2001; K.K. Jyoti, 2001). Namun demikian, biaya komparatif metode kimia seperti klorinasi atau bahkan ozonasi lebih rendah (K.K. Jyoti, 2001). Penelitian yang dilakukan oleh Mezule dkk tentang teknik disinfeksi air dalam efek *survival* pada bakteri *E.coli* dengan menggunakan kavitasi hidrodinamika, menyimpulkan bahwa metode kavitasi hidrodinamika mampu membunuh 75% dari bakteri *E.coli* dan metode ini sangat menjanjikan dalam penggunaan disinfeksi air. (Mezule et al., 2009)

Parameter penting dalam metode kavitasi hidrodinamik adalah perubahan tekanan yang terjadi pada injektor. Terdapat beberapa jenis injektor yang telah digunakan dan masih terus diteliti, di antaranya adalah venturi, orifice, dan water jet. Hasil penelitian yang ada membuktikan bahwa kombinasi *water jet cavitation* dengan ozonasi menghasilkan degradasi sludge 10-20% relatif lebih besar dari metode ozonasi yang telah ada (Hwang et al., 2010). Injektor ini juga terbukti dapat meningkatkan kemampuan degradasi limbah pewarna reaktif bersama-sama dengan metode elektrolisis (Wang et al., 2010). *Dynajets Hydrodynamic cavitating jets* juga telah terbukti dapat menurunkan jumlah bakteri gram positif dan negatif dan memberikan efisiensi energi hingga 100 kali lebih baik dibandingkan dengan disinfeksi menggunakan kavitasi ultrasonik (ultrasonikasi) (Loraine et al., 2011)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kavitasi *water jet* pada kelangsungan hidup bakteri dalam air baku yang berasal dari air permukaan. Penelitian digunakan pada skala lab dengan bakteri *E.coli* sebagai objek yang merupakan bakteri indikator pencemaran air. Dengan metode kavitasi *water jet* ini diharapkan mendapatkan hasil disinfeksi yang lebih baik dari metode kavitasi yang telah digunakan sebelumnya.

## 1.2. Perumusan Masalah

Seberapa besar efektivitas kavitasi *water jet* dalam proses disinfeksi bakteri *E.coli* dalam air baku yang berasal dari air permukaan adalah masalah utama yang akan diselesaikan pada penelitian ini. Selain itu, rentang konsentrasi *E.coli* pada air baku yang dapat didisinfeksi secara optimal dengan waktu kontak dan kecepatan sirkulasi optimal yang didapatkan melalui penelitian ini juga dapat ditentukan.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan efektivitas kavitasi *water jet* untuk mendisinfeksi bakteri *E.coli* serta parameter optimal yang meliputi laju alir sirkulasi serta waktu kontak yang digunakan untuk proses disinfeksi selanjutnya
2. Menentukan konsentrasi *E.coli* yang dapat didisinfeksi secara optimal.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan:

1. Proses ini berlangsung secara batch dengan sirkulasi liquid
2. Air umpan yang digunakan adalah air minum kemasan yang ditambahkan dengan bakteri *E.coli*.
3. Injektor yang digunakan merupakan tipe *water jet* dengan diameter 4 mm
4. Parameter kualitas air yang akan diukur adalah kandungan bakteri *E.coli*.
5. Kinerja proses dievaluasi berdasarkan persentase degradasi bakteri *E.coli*.

### 1.5 Metode Operasional Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan unit pengolahan air skala laboratorium yang berdasarkan pada proses kavitasi hidrodinamika khususnya kavitasi *waterjet*. Sampel air dibuat menggunakan air minum dengan menambahkan bakteri *E.coli* sesuai dengan konsentrasi yang diharapkan. Air kemudian disirkulasi selama satu jam dan diambil sampelnya setiap 15 menit. Sampel kemudian dianalisis menggunakan metode *Total Plate Count (TPC)* untuk mengetahui jumlah bakteri *E.coli* didalamnya.

### 1.6 Sistematika Penulisan

#### **BAB I** PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode operasional penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II** TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar teori mengenai karakteristik bakteri *Escherichia coli*, teori serta proses disinfeksi menggunakan kavitasi hidrodinamika, injektor *water jet*, dan metode *Total Plate Count (TPC)*

#### **BAB III** METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan diagram alir penelitian, rancangan penelitian, dan prosedur penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan percobaan yang diinginkan.

#### **BAB IV** HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil yang diperoleh dalam penelitian dan pembahasannya

#### **BAB V** KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

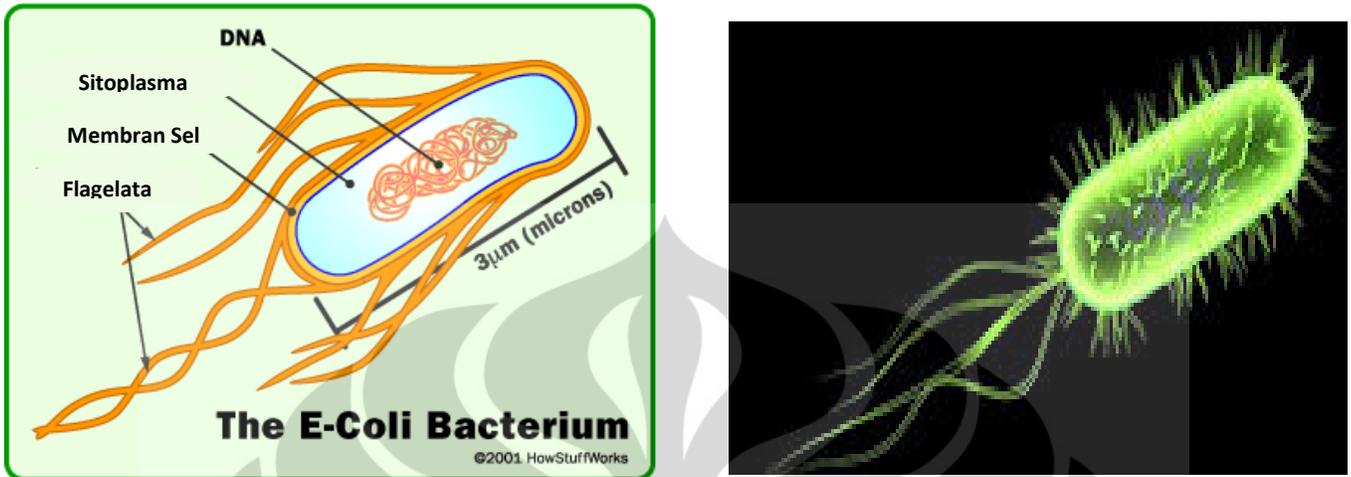
#### **2.1. *Escherichia coli***

*Escherichia coli* atau biasa disingkat *E.coli*, adalah salah satu jenis spesies utama bakterigram negatif. Bakteri gram negatif adalah bakteri yang tidak mempertahankan zat warna kristal violet sewaktu proses pewarnaan gram sehingga akan berwarna merah bila diamati dengan mikroskop. Disisi lain, bakteri gram positif akan berwarna ungu. Perbedaan keduanya didasarkan pada perbedaan struktur dinding sel dan dapat dinyatakan oleh prosedur pewarnaan gram. Kebanyakan spesies bakteri gram negatif bersifat patogen, yang berarti mereka berbahaya bagi organisme inang.

Pada umumnya, bakteri yang ditemukan oleh Theodor Escherich pada tahun 1885 ini dapat ditemukan dalam usus besar manusia. Kebanyakan *E.coli* tidak berbahaya, tetapi beberapa, seperti *E.coli* tipe O157:H7 dapat mengakibatkan keracunan makanan yang serius pada manusia yaitu diare berdarah karena eksotoksin yang dihasilkan bernama verotoksin.

*E.coli* merupakan bakteri fakultatif anaerob, kemoorganotropik, mempunyai tipe metabolisme fermentasi dan respirasi. Pertumbuhan yang baik pada suhu optimal 37 °C pada media yang mengandung 1% peptone sebagai sumber karbon dan nitrogen. *E.coli* memfermentasikan laktosa dan memproduksi indol yang digunakan untuk mengidentifikasi bakteri pada makanan dan air.

Secara garis besar klasifikasi bakteri *E.coli* berasal dari Filum *Proteobacteria*, Kelas *Gamma Proteobacteria*, Ordo *Enterobacteriales*, Familia *Enterobacteriaceae*, Genus *Escherichia*, Spesies *Escherichia coli*. Secara morfologi *E.coli* berbentuk batang pendek, gemuk, berukuran 2,4 µ x 0,4 sampai 0,7 µ, Gram negatif, tidak bersimpai, bergerak aktif dan tidak berspora seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. *E.coli* dapat bertahan hingga suhu 60 °C selama 15 menit atau pada 55 °C selama 60 menit.



**Gambar 2.1.** Bentuk Fisiologis Bakteri *E.coli*

(Ken dan Lisa, 2011)

Bakteri *E.coli* sebenarnya sangat mudah dijumpai pada tempat kotor dan biasanya bakteri ini terdapat pula pada kotoran makhluk hidup tak terkecuali kotoran manusia. Untuk air kotor yang telah terkontaminasi dan tidak bersih seperti air kotor akibat pencemaran air limbah domestik dan industri, biasanya juga memiliki kandungan bakteri *E.coli*. Untuk jumlah kandungan yang kecil, bakteri ini tidak dapat membahayakan kesehatan manusia. Sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI nomor 452 tahun 2010, standar air minum harus nol dari *E.coli*. Sedangkan untuk air bersih perpipaan maksimal kurang dari 10 mpn. Kemudian untuk air bersih bukan perpipaan maksimal kurang dari 50 mpn. Apabila kandungannya sudah diluar ambang batas yang diperbolehkan, maka air tersebut tidak dapat digunakan terutama untuk dikonsumsi.

Penyakit yang mungkin akan muncul akibat dari adanya bakteri *E.coli* adalah jenis-jenis penyakit yang dapat menular dengan mudah dari satu orang ke orang lain seperti diare, muntaber, dan mual-mual. Masa inkubasi bakteri *E.coli* sekitar 6-24 jam hingga akhirnya gejala semakin parah pada tubuh orang yang terjangkiti. Karena bahaya yang ditimbulkan karena keberadaan bakteri *E.coli* pada air yang kita gunakan khususnya yang akan kita konsumsi, maka air yang akan kita gunakan atau

konsumsi harus bebas atau paling tidak dibawah standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itulah apabila air yang digunakan untuk kebutuhan sehari hari belum memenuhi standar yang ada maka perlu dilakukan proses untuk membersihkannya dari bakteri *E.coli*.

## 2.2. Kavitas Hidrodinamika

Kavitas didefinisikan sebagai fenomena pembentukan, pertumbuhan, dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Gelembung mikro merupakan gelembung dengan diameter kurang dari puluhan micron, sedangkan gelembung konvensional memiliki diameter beberapa millimeter. Jika fenomena ini terjadi akibat variasi tekanan pada cairan yang mengalir akibat perubahan geometri pada sistem yang mengalir, maka disebut sebagai kavitas hidrodinamik (Jyoti dan Pandit, 2004), dan jika terjadi karena adanya gelombang suara dengan frekuensi tinggi disebut kavitas akustik (ultrasonikasi). Perbedaan kedua jenis kavitas tersebut adalah bagaimana kondisi kavitas dapat terbentuk.

Gelembung pada metode kavitas ini dapat terbentuk karena terdapat gaya atau energi yang diberikan pada suatu medium akan menyebabkan molekul molekul di dalamnya bergetar. Akibat adanya getaran tersebut, struktur dari molekul akan meregang dan terkompresi. Selain itu, jarak antar molekul juga akan berubah akibat adanya getaran molekul pada posisi awal. Jika energi yang diberikan terus ditingkatkan maka akan dicapai suatu kondisi maksimum dimana gaya intramolekul tidak dapat lagi menahan struktur molekul seperti keadaan awalnya. Akibatnya molekul itu akan pecah dan terbentuklah lubang (cavity). Lubang inilah yang disebut sebagai gelembung kavitas. Pada kavitas akustik, energi yang ditransmisikan ke dalam medium bersumber pada gelombang yang memiliki frekuensi tinggi yang disebut sebagai gelombang ultrasonik, sedangkan pada kavitas hidrodinamik, energi tersebut berasal dari gaya yang dihasilkan dari perbedaan geometri pada sistem yang mengalir.

Kavitasi hidrodinamik dapat dengan mudah dibentuk dengan mengalirkan liquid melewati jalur menyempit seperti throttling valve, orifice plate, dan venturi seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Saat liquid melewati jalur yang menyempit, energi kinetik atau velocity dari liquid meningkat yang mengakibatkan turunnya tekanan. Bila penyumbatan cukup untuk menyebabkan tekanan di sekitar *vena contracta* turun hingga di bawah tekanan ambang batas terbentuknya kavitasi (biasanya tekanan uap liquid pada temperatur operasi), jutaan gelembung akan dihasilkan. Selanjutnya gelembung akan membesar lalu tekanan meningkat dan akhirnya gelembung akan pecah. Selama perjalanan liquid melewati jalur yang menyempit, akan terbentuk *boundary layer* dan sejumlah besar energi akan hilang sebagai bentuk timbulnya *pressure drop*.

Proses pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam air akan mengakibatkan temperatur dan tekanan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan teori hotspot yang menyatakan bahwa pecahnya gelembung mikro berlangsung dalam waktu yang sangat singkat sehingga kompresi dari gas dan uap di dalam gelembung terjadi secara adiabatik. Akibatnya, pada saat gelembung mikro pecah, temperatur dan tekanan sangatlah tinggi, yang mencapai 4200-5400 K dan 200-500 atm. Kondisi *hot spot* lokal dihasilkan karena pecahnya gelembung dalam waktu yang sangat cepat (<10  $\mu$ s). Temperatur serta tekanan yang dihasilkan pada saat pecahnya gelembung inilah yang akan memicu terbentuknya radikal bebas ( $\cdot$ OH) melalui disosiasi termal dari air dan oksigen. Berikut adalah reaksi pembentukan radikal hidroksil melalui disosiasi termal dari air dan oksigen.

- Disosiasi termal air



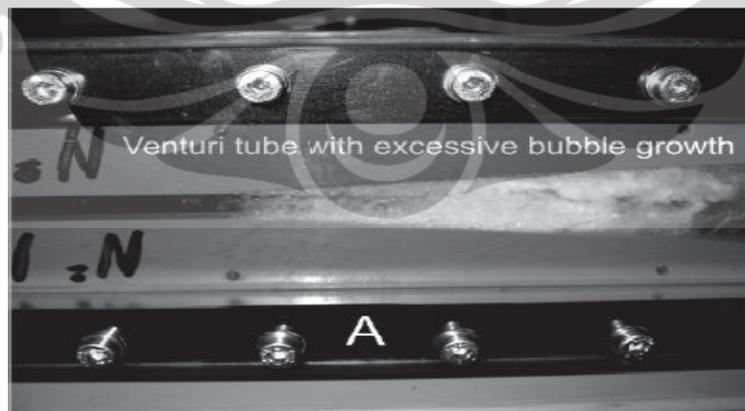
- Disosiasi termal oksigen





Radikal bebas yang terbentuk selanjutnya akan masuk ke dalam air dan mengoksidasi senyawa-senyawa kontaminan yang terkandung di dalam air. Kondisi kavitasi yang ekstrem dapat dimanfaatkan untuk menghancurkan molekul-molekul. Teknik kavitasi ini sudah diteliti secara luas sebagai penghancur polutan organik seperti senyawa aromatik (Jiang et al., 2002; Sivasankar dan Moholkar, 2008), karbon yang terklorinasi (Ondruscha dan Brautigam, 2007), dan pewarna organik (Okitsu et al., 2005).

Penggunaan kavitasi pada proses disinfeksi atau pemurnian air telah banyak diteliti. Metode ultrasonikasi atau kavitasi ultrasonik telah digunakan tidak kurang dari sepuluh tahun terakhir pada laboratorium untuk perusakan sel mikroba. Pembentukan gelembung yang pecah pada medium liquid menyebabkan pembentukan *shock waves* dan *fast microjets* pada liquid. Hal ini menimbulkan energi yang cukup untuk membuat bakteri lemah atau rusak secara mekanik (Joyce et al., 2003). Efek lain yang ditimbulkan adalah terbentuknya radikal hidroksil yang memiliki kemampuan sebagai desinfektan. Efek yang sama juga dapat dihasilkan oleh proses kavitasi hidrodinamika.



**Gambar 2.2.** Fenomena Kavitasi pada Venturi

(Arrojo dan Benito, 2008)

### 2.3. *Water jet Injector*

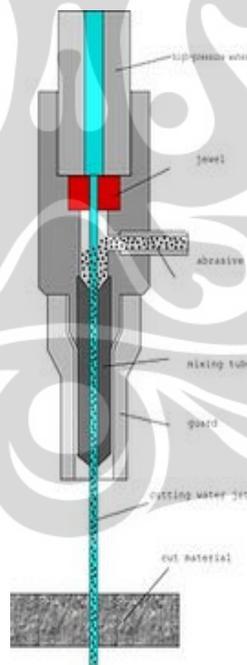
Untuk membuat terjadinya kavitasasi hidrodinamik, maka diperlukan perbedaan tekanan masukan dan keluaran dari gas atau liquid yang diinginkan. Perbedaan tekanan diperoleh dengan melakukan perubahan geometri dari sistem yang mengalir. Terdapat beberapa jenis injektor yang sudah dikenal, diantaranya adalah injektor venturi dan *orifice*. Cara kerja dari injektor venturi adalah ketika cairan operasi bertekanan masuk ke dalam injektor, aliran ini ditarik menuju arah ruang injeksi dan berubah menjadi aliran dengan kecepatan yang sangat tinggi. Peningkatan kecepatan yang melalui ruang injeksi akan menurunkan tekanan. Lalu aliran menuju keluaran injektor dengan kecepatan yang berkurang namun tekanan yang meningkat.

Bentuk geometri dari venturi sendiri mempengaruhi kavitasasi yang terbentuk dan kemampuannya untuk mendegradasi suatu polutan. Tekanan inlet yang tinggi dan laju alir yang besar saat melewati *cavitation tube* dapat memperbaiki aktivitas kavitasasi (Kumar et al., 2000). Untuk mendapatkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan analisis mengenai bentuk geometri dari alat pembentuk kavitasasi serta pola sirkulasi yang terjadi pada alat yang digunakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Waang dkk memperlihatkan hasil bahwa degradasi dari pewarna jenis Reactive Red 2 memiliki efisiensi menurun dari 60,5 menjadi 53,5% seiring dengan meningkatnya diameter *throat* dari 2 mm menjadi 3 mm (M.S. Doulah, 1977). Hal ini mungkin terjadi karena dengan diameter yang lebih kecil, menurunkan daerah alirserta meningkatkan *kecepatan* di daerah penyempitan, dan hal ini meningkatkan aktivitas kavitasasi, yang akan meningkatkan kemampuan kavitasasi dalam mendegradasi atau mendisinfeksi. Dalam penelitian tersebut juga dikatakan apabila panjang dari *throat* meningkat dari 0 mm sampei 18 mm, degradasi *Reactive Red 2* menurun dari 53,5 menjadi 47,5%. Hal ini dapat dijelaskan bahwa panjang *throat* yang lebih besarmenghasilkan kehilangan energi yang lebih besar ketika melewati *throat* sehingga menyebabkan berkurangnya aktivitas kavitasasi dan mengurangi kemampuan degradasi.

Penggunaan injektor yang selanjutnya kami sebut dengan *water jet* ini didasarkan atas beberapa penelitian yang telah mempelajari pengaruh geometri dari venturi untuk dapat menghasilkan aliran yang menghasilkan pengaruh kavitasi yang paling baik. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa diameter serta panjang throat yang semakin kecil seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 menghasilkan efek kavitasi yang memiliki efektivitas yang lebih baik pada penggunaannya untuk degradasi polutan.

Selain itu untuk mendapatkan tekanan serta laju alir yang besar, digunakan dua aliran pada alat, yaitu aliran utama dan aliran by pass. Bila pada beberapa penelitian aliran by pass digunakan untuk mengatur laju alir, untuk mendapatkan aliran dengan tekanan dan laju alir yang besar maka syarat yang harus dipenuhi adalah aliran yang berfungsi sebagai by pass harus ditutup seluruhnya. (M.S. Doulah, 1977)



**Gambar 2.3.** *Water Jet Injector*  
(Anonim, 2007)

#### 2.4. Disinfeksi *E.coli*

Disinfeksi adalah suatu proses untuk membunuh bakteri patogen penyebab penyakit yang penyebarannya melalui air dengan menggunakan bahan desinfektan. Beberapa cara yang dilakukan dalam disinfeksi terhadap bakteri pathogen antara lain:

- a. Cara Kimia yaitu dengan penambahan bahan kimia.
- b. Cara Fisik yaitu dengan sistem pemanasan atau penyinaran.
- c. Cara Mekanis yaitu dengan sistem pengendapan, saringan pasir lambat, saringan pasir cepat dan lain-lain

Jenis-jenis bahan desinfektan yang biasa digunakan dalam proses disinfeksi terhadap air adalah:

- a. Chlorine dan senyawanya
- b. Ozon
- c. Iodine dan Bromine
- d. Ultra Violet
- e. Kalium Permanganat
- f. Ferrate dan Hidrogen peroksida.

Penggunaan klorin dalam disinfeksi bakteri *E.coli* mempunyai kekurangan yaitu senyawa klorin yang bersifat karsinogenik dan dapat mempengaruhi rasa dari air bersih yang didisinfeksi. Selain itu metode ini juga tidak efektif dalam membasmi bakteri yang tersembunyi dalam *loose deposit* atau dalam *biofilm* yang banyak terdapat dalam pengolahan air. Klorinasi juga tidak menyebabkan kerusakan secara fisiologis pada mikroorganisme dan dengan demikian banyak mikroorganisme yang dapat beradaptasi dalam dosis klorin yang relatif tinggi. Walaupun penggunaan klorin membutuhkan biaya yang relatif murah dan mudah dilakukan, namun membutuhkan tingkat pengontrolan dosis penggunaan yang sangat teliti, yang dengan kata lain membutuhkan biaya perawatan yang tinggi (Mezule et al., 2009).

Hasil samping dari reaksi menggunakan senyawa kimia dalam proses disinfeksi membuat para peneliti beralih pada proses fisika dengan menggunakan sinar ultraviolet (UV), yang terbatas pada penyebaran cahaya (Parker, 1995) atau penyerapan pada larutan (Harris, 1987) atau ketika mikroorganisme yang mampu *photoreactivation* (memperbaiki diri) (Harris, 1987). Di sisi lain, teknologi fisik cenderung lebih mahal, dan teknik berbasis UV ini tidak efisien ketika terdapat kekeruhan atau pewarna karena efek menghambat yang menginaktivasi atau mengurangi efisiensi radiasi.

Untuk menanggulangi kelemahan-kelemahan yang ada pada metode yang dijelaskan di atas, maka dilakukan penelitian lebih lanjut sehingga ditemukan suatu metode yang selanjutnya disebut sebagai kavitasi hidrodinamika. Kavitasi pada dasarnya diklasifikasikan sebagai kavitasi transient dan stabil. Kavitasi transient mengandung arti pecahnya gelembung yang relatif keras di mana *hot spot* lokal dengan suhu dan tekanan tinggi terjadi dalam ledakan yang sangat singkat (dalam orde mikrosecond) dalam medium. Ledakan ini bisa disertai dengan gelombang kejut lokal dan/atau pembentukan spesies kimia yang sangat reaktif. Sebaliknya, bentuk lain dari kavitasi yang kurang kuat, kavitasi stabil terkait dengan *vibrating gaseous bodies*. Sifat dari bentuk kavitasi ini terdiri dari *gaseous body* yang tetap stabil di dalam dan berdenyut karena fluktuasi tekanan di sekitarnya. Ketika osilasi volumetrik itu terbentuk, cairan seperti media langsung berdekatan dengan aliran gelembung gas atau membentuk arus (disebut *microstreaming*). *Microstreaming* akibat kavitasi stabil telah terbukti menghasilkan *shear stresses* yang cukup untuk merusak membran sel. Mekanisme yang tepat dimana kavitasi dapat mengakibatkan inaktivasi mikroorganisme yang menyebabkan disinfeksi air belum secara meyakinkan dapat ditetapkan, meskipun begitu hal tersebut adalah kombinasi dari beberapa mekanisme di bawah ini yang dapat bekerja secara bersamaan (Gogate dan Kabadi, 2009).

- a. Efek mekanis yang disebabkan oleh fenomena kavitasi. Pembentukan turbulensi, sirkulasi cairan, dan *shear stress*.
- b. Efek kimia dari fenomena kavitasi termasuk pembentukan radikal bebas

- c. Efek panas, yaitu terbentuknya *local hot spot* (kondisi suhu dan tekanan local yang sangat tinggi)
- d. Ketika digunakan dalam kombinasi dengan bahan kimia (Cl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>), gradient tekanan yang kuat meningkatkan penetrasi bahan kimia pengoksidasi melalui membrane sel mikroba. Kvitasi juga dapat memfasilitasi *disagglomertion* dari kumpulan mikroorganisme dalam larutan dan dengan demikian meningkatkan efektivitas disinfektan kimia lainnya.

### 2.5. Total Plate Count (TPC)

Banyak tersedia metode untuk menganalisa jumlah mikroorganisme dalam suatu sampel, diantaranya adalah *plate count* (*spread plate*, *pour plate*, *spiral plate*), membrane filtration, *Most Probable Number (MPN)*, menghitung langsung dengan Petroff Hausser ataupun cara lainnya (misalnya aktivitas metabolik, turbidimetri, berat kering dll.). Secara mendasar terdapat dua cara perhitungan jumlah mikroba, yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Ada beberapa cara perhitungan secara langsung, antara lain adalah dengan membuat preparat dari suatu bahan (preparat sederhana diwarnai atau tidak diwarnai) dan penggunaan ruang hitung (*counting chamber*). Sedangkan perhitungan cara tidak langsung hanya untuk mengetahui jumlah mikroorganisme pada suatu bahan yang masih hidup saja (*viabel count*). Dalam pelaksanaannya, ada beberapa cara yaitu :

1. Perhitungan pada cawan petri (*total plate count / TPC*)
2. Perhitungan melalui pengenceran
3. Perhitungan jumlah terkecil atau terdekat (*MPN methode*)
4. Kalorimeter (cara kekeruhan atau turbidimetri).

*Plate count/viable count* didasarkan pada asumsi bahwa setiap sel mikroorganisme hidup dalam suspensi akan tumbuh menjadi satu koloni setelah ditumbuhkan dalam media pertumbuhan dan lingkungan yang sesuai. Setelah

diinkubasi, jumlah koloni yang tumbuh dihitung dan merupakan perkiraan atau dugaan dari jumlah mikroorganisme dalam suspensi tersebut. Koloni yang tumbuh tidak selalu berasal dari satu sel mikroorganisme karena beberapa mikroorganisme tertentu cenderung membentuk kelompok atau berantai.

Pemahaman tentang satuan dalam menghitung sel mikroba khususnya bakteri adalah sangat penting. Pada hasil akhir penghitungan bakteri pada cawan digunakan satuan CFU's/volume atau berat. CFU's adalah singkatan dari Coloni Forming Unit's yang artinya unit-unit/satuan pembentuk koloni. Yang dimaksud satuan pembentuk koloni adalah sel tunggal atau sekumpulan sel yang jika ditumbuhkan dalam cawan akan membentuk satu koloni tunggal. Pada dasarnya sel tersebar homogen pada sampel, tetapi ada jenis bakteri yang memang pembelahan selnya dapat terpisah baik sehingga tersebar merata tiap sel dan ada pula bakteri yang setelah membelah sel anaknya masih menempel padainduknya, seperti halnya yang terjadi pada streptococcus, diplococcus, sarcina, dll, sehingga penyebarannya berkelompok-kelompok. Pada jenis yang seperti ini jika tersebar merata dalam kelompok-kelompok sel maka pertumbuhan menjadi koloni tunggal bukan berasal dari satu sel saja melainkan dari beberapa sel.

Langkah-langkah yang harus ditempuh untuk melakukan metode *plate count* dan mengkondisikan pertumbuhan mikroorganisme agar tumbuh tidak bergerombol atau tiap koloni harus saling terpisah, yaitu:

- a. Bahan makanan atau sumber mikroorganisme lain ditimbang sebanyak 5 gram dan diencerkan di dalam erlenmeyer dengan aquades sampai volumenya 50 ml (pengenceran  $10^{-1}$ )
- b. Mikroorganisme hasil pengenceran tersebut dimasukkan ke dalam petridish dan diinkubasi lalu dihitung dengan coloni counter.
- c. Bila masih banyak koloni yang menggerombol, maka mikroorganisme yang sudah diencerkan tadi perlu diencerkan lagi sampai pengenceran  $10^n$  sampai

jumlah koloni dapat dihitung sebanyak 30 sampai 300 koloni dengan memakai coloni counter.

- d. Setelah diketahui jumlah pengenceran adalah antara 30 sampai 300 koloni maka jumlah mikroorganisme dapat diketahui sebanyak jumlah koloni dikalikan satu per  $10^n$ , dimana  $10^n$  adalah faktor pengenceran.

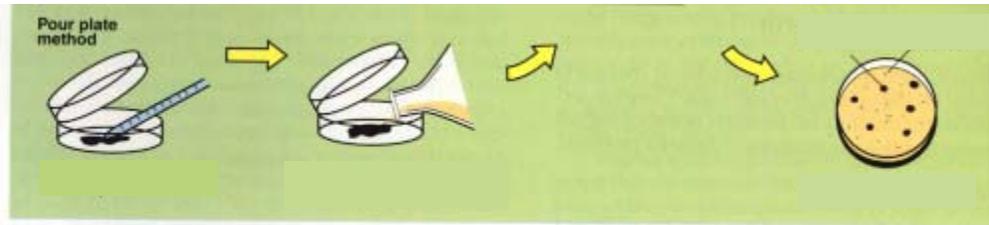
Terdapat dua cara peletakan sampel pada cawan dalam metode plate count yaitu spread plate dan pour plate. Metode spread plate meliputi penyebaran merata sampel yang diencerkan di atas media agar seperti pada Gambar 2.4. Bila menggunakan metode ini, volume lebih dari 0,1 ml sampel yang telah diencerkan tidak boleh digunakan karena agar tidak akan mampu menyerap kelebihan. Menggunakan metode ini menghasilkan koloni yang terbentuk pada permukaan agar-agar.



**Gambar 2.4.** Metode *Spread Plate*

(Madigan et al., 1997)

Bila menggunakan metode pour plate, sampel yang telah diencerkan dipipet ke dalam cawan petri steril kemudian agar-agar cair dituangkan dan dicampur dengan sampel seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Dengan menggunakan metode ini memungkinkan volume yang lebih besar dari sampel yang diencerkan. Biasanya di kisaran 0,1-1,0 ml. Metode ini menghasilkan koloni yang membentuk koloni di seluruh agar-agar, bukan hanya di permukaan. Diperlukan perhatian lebih dalam penggunaan metode ini yaitu untuk memastikan bahwa organisme yang akan dihitung dapat bertahan pada suhu terkait dengan agar-agar yang berwujud cair.



**Gambar 2.5.** Metode *Spread Plate*

(Madigan et al., 1997)

Syarat perhitungan jumlah bakteri adalah (Hestining dan Sitoresmi, 1996)

- Jumlah koloni tiap petri dish antara 30-300 koloni, bila tidak ada, dipilih yang mendekati.
- Tidak ada spreader (koloni yang menutup lebih dari setengah luas petri dish)
- Bila perbandingan jumlah bakteri antara pengenceran yang lebih besar dengan pengenceran sebelumnya  $< 2$ , hasilnya dirata-rata, tetapi bila  $> 2$ , yang dipakai jumlah bakteri dan pengenceran sebelumnya.
- Bila dengan ulangan dan hasil memenuhi syarat, hasilnya dirata-rata

Syarat koloni yang ditentukan untuk dihitung adalah sebagai berikut:

- Satu koloni dihitung 1 koloni.
- Dua koloni yang bertumpuk dihitung 1 koloni.
- Beberapa koloni yang berhubungan dihitung 1 koloni.
- Dua koloni yang berhimpitan dan masih dapat dibedakan dihitung 2 koloni.
- Koloni yang terlalu besar (lebih besar dari setengah luas cawan) tidak dihitung.
- Koloni yang besarnya kurang dari setengah luas cawan dihitung 1 koloni.

Cara menghitung sel relatif/CFU's per ml:

$$CFU's/ml = \frac{\bar{x}_{bakteri} \times F_p}{V_{inokulasi\ ke\ cawan}} \quad (2.9)$$

dimana:

$\bar{x}_{bakteri}$  adalah jumlah bakteri yang terbaca pada cawan

$F_p$  adalah faktor pengencer

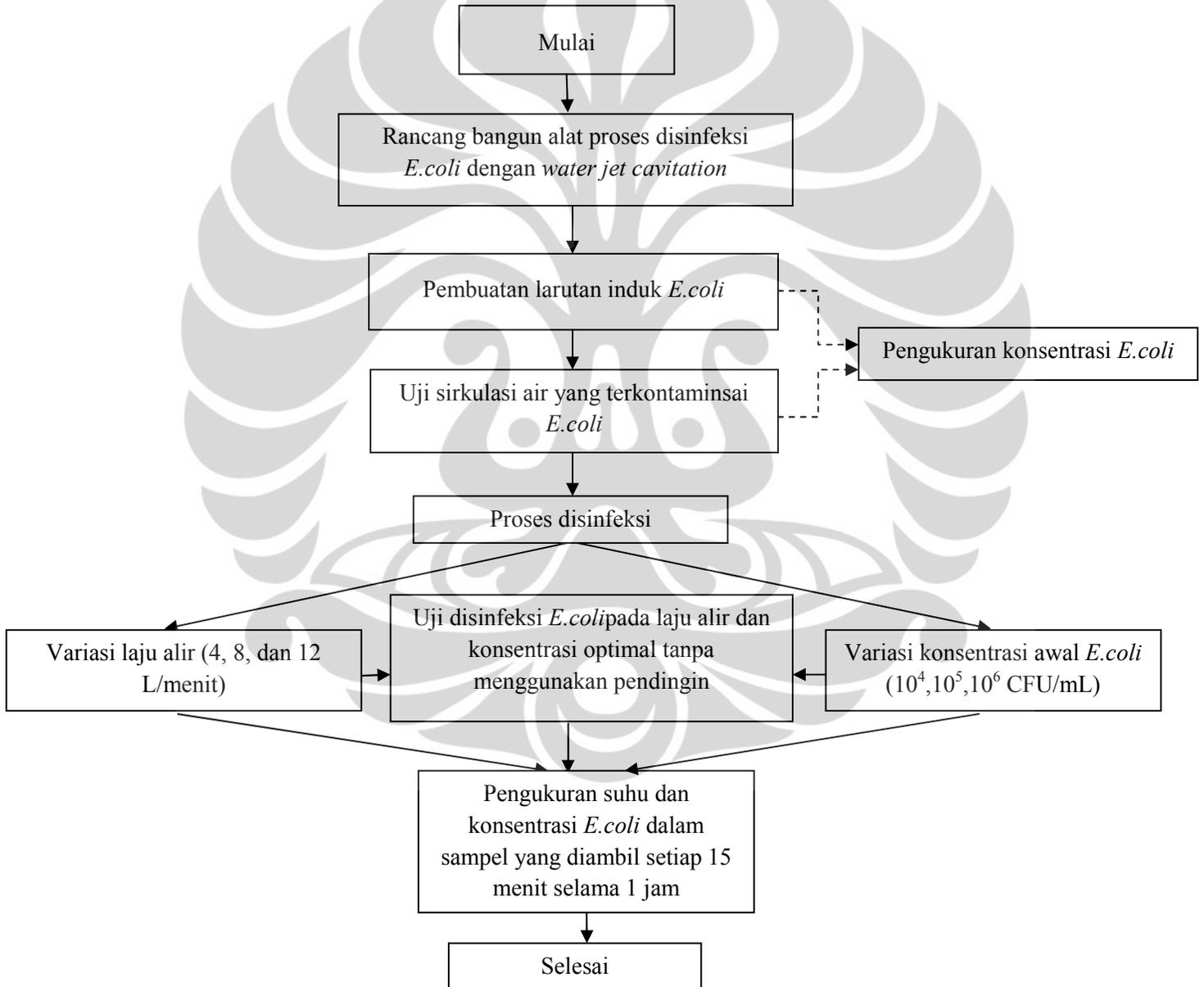
$V_{inokulasi\ ke\ cawan}$  adalah volume sampel yang telah diencerkan yang dimasukkan ke dalam cawan



**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1. Diagram Alir Penelitian**

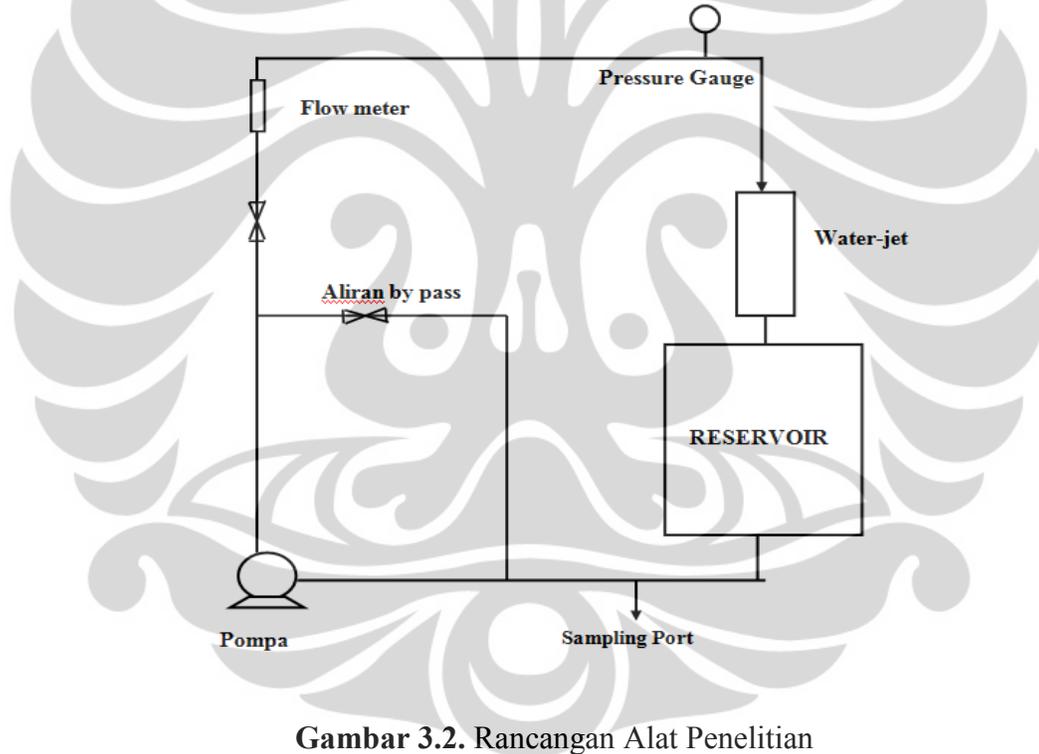
Urutan proses kerja yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Sistem peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah injektor tipe *water jet*, pompa, tanki reservoir, pressure gauge dan flow meter. Penyusunan alat dapat dilihat pada Gambar 3.2. Selain alat alat utama tersebut, digunakan juga peralatan yang digunakan untuk membuat larutan induk serta analisis konsentrasi *E.coli* dalam sampel yang secara lengkap dijelaskan di bawah ini. Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang tidak mengandung *E.coli* (air minum) serta bakteri *E.coli*. Selain itu terdapat beberapa bahan yang digunakan untuk analisis konsentrasi *E.coli*.



Gambar 3.2. Rancangan Alat Penelitian

#### 3.2.1. Alat

Keseluruhan peralatan yang digunakan pada penelitian ini beserta kegunaannya ditampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini.

**Tabel 3.1.** Alat Penelitian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Reservoir	Tempat air yang telah terkontaminasi <i>E.coli</i>
2	Injektor tipe water jet	Mengubah geometri aliran dan menghasilkan kavitasi <i>water jet</i>
3	Pompa	Untuk mensirkulasi aliran
4	Flow meter	Untuk mengukur laju alir masuk ke dalam injektor
5	Pressure Gauge	Untuk mengukur tekanan masuk ke dalam injektor
6	Valve	Untuk mengatur laju alir
7	Stop Watch	Untuk mangukur waktu
8	Erlenmeyer 500 mL	Sebagai tempat larutan induk <i>E.coli</i>
9	Spatula	Untu mengaduk larutan <i>E.coli</i>
10	Pipet Ukur 20 mL	Untuk mengambil larutan induk <i>E.coli</i>
11	Pipet Ukur 1 mL	Untuk mengambil larutan induk <i>E.coli</i>
12	Botol sampel 10 mL	Sebagai tempat sampel yang telah didisinfeksi
13	Cawan petri	Sebagai tempat tumbuhnya <i>E.coli</i> yang akan dianalisis
14	Magnetic stirrer dan pemanas	Untuk mengaduk larutan <i>E.coli</i>
15	Inkubator	Untuk menginkubasi <i>E.coli</i> pada suhu yang terkontrol.
16	Autoclave	Untuk sterilisasi alat dan bahan yang akan digunakan
17	Bunsen	Untuk sterilisasi, membunuh bakteri pada jarum ose dan membuat kondisi aseptik
18	Jarum ose	Untuk inokulasi bakteri
19	Mikropipet	Untuk memindahkan larutan dalam ukuran $\mu\text{L}$

### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama yang terdiri dari air dan bakteri *E.coli* serta bahan yang digunakan untuk analisis. Keseluruhan bahan beserta kegunaannya ditampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini.

**Tabel 3.2.** Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Kegunaan
1	Bakteri <i>E.coli</i>	Bakteri yang akan didisinfeksi dengan kavitasi water jet
2	Buffered Peptone Water (BPW)	Nutrient broth untuk mengkultur <i>E.coli</i>
3	Chromocult Coliform Agar (CCA)	Media tumbuh <i>E.coli</i> pada proses analisis
4	Alkohol 70%	Untuk mensterilisasi kondisi disekitar tempat penelitian dan analisis bakteri
5	Air minum	Untuk pengenceran larutan <i>E.coli</i> hingga konsentrasi yang diinginkan

### 3.3. Variabel Penelitian

Variasi-variasi yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas kavitasi *water jet* pada disinfeksi bakteri *E.coli* serta untuk menemukan konsentrasi *E.coli* yang dapat didisinfeksi secara optimal.. Variabel-variabel tersebut dapat dikelompokkan menjadi:

1. Variabel bebas adalah variabel yang diatur pada harga tertentu. Variabel bebas yang ditentukan dalam penelitian ini adalah konsentrasi awal *E.coli* dan laju alir dari air yang telah terkontaminasi *E.coli*

2. Variabel terikat adalah variabel yang didapatkan lewat pengukuran (data yang diinginkan). Variabel terikat pada penelitian ini adalah konsentrasi *E.coli*, suhu, dan tekanan

### 3.4. Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas kavitasi *water jet* pada disinfeksi bakteri *E.coli*. Secara umum, penelitian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Uji sirkulasi air yang tercemar *E.coli*
2. Disinfeksi bakteri *E.coli* melalui proses kavitasi *water jet* dengan variasi laju alir
3. Disinfeksi bakteri *E.coli* melalui proses kavitasi *water jet* dengan variasi konsentrasi awal bakteri *E.coli*
4. Disinfeksi bakteri *E.coli* melalui proses kavitasi *water jet* dengan laju alir dan konsentrasi optimal tanpa menggunakan pendingin.

### 3.5. Prosedur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas kavitasi *water jet* pada disinfeksi bakteri *E.coli*. Sebelum melakukan rangkaian penelitian seperti yang dijelaskan pada bagian rancangan penelitian, maka dilakukan tahap persiapan yang meliputi pembuatan rangkaian alat, pembuatan larutan induk *E.coli*, serta uji sirkulasi. Berikut merupakan beberapa tahap yang dilakukan dalam keseluruhan penelitian ini.

#### 3.5.1. Pembuatan Rangkaian Peralatan

Pada penelitian ini digunakan sebuah reaktor yang terbuat dari borosilikat dengan volume sebesar 5 L yang dilengkapi dengan *sampling port* untuk pengambilan sampel pada titik tertentu. Selain reaktor ini, komponen utama lainnya dalam rangkaian alat pada penelitian ini adalah *water jet injector*. *Water*

*jetinjector* berfungsi untuk menghasilkan struktur geometri dari pola aliran untuk membentuk fenomena kavitasi. *Water jet injector* yang digunakan memiliki diameter *inlet* sebesar 7 mm, diameter *outlet* sebesar 4 mm, serta lubang injeksi udara dengan diameter sebesar 3 mm dan tidak membutuhkan aliran listrik. Pada penelitian ini air yang telah terkontaminasi oleh bakteri *E.coli* dengan konsentrasi tertentu akan disirkulasi dengan menggunakan pompa. Aliran keluaran pompa akan dibagi ke dalam dua aliran yaitu aliran utama yang akan terhubung dengan *water jet injector* serta aliran *by pass* yang berfungsi untuk menjaga laju alir agar tetap stabil. Masing-masing aliran akan dilengkapi dengan valve dan *flow meter* pada aliran utama untuk mengatur laju alir yang juga merupakan variabel bebas dalam penelitian ini. Sampel akan diambil melalui sampling port dalam selang waktu 15 menit selama 60 menit.

### 3.5.2. Pembuatan Larutan Induk *E.coli*

Berikut adalah prosedur pembuatan larutan induk *E.coli* yang digunakan sebagai induk dalam pembuatan konsentrasi yang diinginkan.

1. Menimbang 5 gram *Buffered Peptone Water* (BPW) dan memasukkannya ke dalam Erlenmeyer yang berisi 200 mL air suling lalu mengaduknya hingga terlarut sempurna
2. Memasukkan erlenmeyer ke dalam autoclave selama 20 menit dan menunggunya hingga dingin
3. Mengambil 24 ose bakteri *E.coli* dari media padat
4. Melarutkan bakteri *E.coli* menggunakan magnetic stirrer yang telah disterilkan
5. Menganalisis kandungan *E.coli* pada larutan induk
6. Mempipet sejumlah larutan yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi tertentu dengan menggunakan rumus seperti di bawah ini

Misal : konsentrasi bakteri *E.coli* umpan sebanyak  $10^6$ CFU/mL, maka perhitungannya sebagai berikut :

$$1 \times 10^8 \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \times \text{vol. larutan induk } E. \text{ Coli (mL)} = 1 \times 10^6 \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} \times \text{vol. air umpan} \quad (3.1)$$

Volume air umpan pada percobaan ini adalah 2000 mL (2 L) sehingga volume *resuspend E. coli* yang dimasukkan adalah sebesar :

$$\text{Vol. larutan induk } E. \text{ Coli (mL)} = \frac{1 \times 10^6 (\text{CFU/mL}) \times 2.000 (\text{mL})}{1 \times 10^8 (\text{CFU/mL})} \quad (3.2)$$

$$\text{Vol. larutan induk } E. \text{ Coli (mL)} = 20 \text{ mL} \quad (3.3)$$

### 3.5.3. Uji Sirkulasi Air yang Terkontaminasi *E. coli*

Berikut adalah prosedur uji sirkulasi yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pompa dan *fitting* pada kelangsungan hidup *E. coli* yang memiliki konsentrasi dalam larutan sebesar  $10^6$ .

1. Mempipet 20 mL larutan induk *E. coli* dan memasukkannya ke dalam reservoir yang telah berisi 1800 mL air suling (konsentrasi larutan  $10^6$  CFU/mL)
2. Mengambil sampel sebelum dilakukan proses sirkulasi larutan.
3. Memasukan larutan dengan konsentrasi *E. coli*  $10^6$  CFU/mL ke dalam reaktor
4. Memasukkan koil ke dalam reaktor dan menyalakan *thermo circulator*.
5. Menyalakan pompa untuk sirkulasi larutan dalam sistem
6. Membuka penuh valve pada aliran utama dan pada aliran bypass
7. Membaca nilai suhu dan tekanan dan mengambil sampel dari sampling port setiap 15 menit selama 1 jam dan memasukkannya ke dalam botol sampel
8. Menganalisis kandungan *E. coli* dalam sampel

### 3.5.4. Disinfeksi Bakteri *E. coli* Melalui Proses Kavitasasi *Water Jet* dengan Variasi Laju Alir

Berikut merupakan prosedur uji disinfeksi *E. coli* melalui proses kavitasasi *water jet* dengan tiga variasi laju alir.

1. Mempipet 20 mL larutan induk *E.coli* dan memasukkannya ke dalam reservoir yang telah berisi 1800 mL air suling (konsentrasi larutan  $10^6$  CFU/mL)
2. Mengambil sampel sebelum dilakukan proses disinfeksi
3. Memasukkan larutan dengan konsentrasi *E.coli*  $10^6$  CFU/mL ke dalam reaktor
4. Memasukkan koil ke dalam reaktor dan menyalakan *thermo circulator*.
5. Menyalakan pompa untuk sirkulasi larutan dalam sistem
6. Mengatur valve pada aliran utama dan aliran by pass sehingga diperoleh kecepatan aliran sebesar 4 L/menit
7. Membaca nilai suhu dan tekanan dan mengambil sampel dari sampling port setiap 15 menit selama 1 jam dan memasukkannya ke dalam botol sampel
8. Mengulang langkah 1-6 untuk laju alir 8 dan 12 L/menit
9. Menganalisis kandungan *E.coli* dalam sampel

### **3.5.5. Disinfeksi Bakteri *E.coli* Melalui Proses Kavitas *Water Jet* dengan Variasi Konsentrasi Awal Bakteri *E.coli***

Berikut merupakan prosedur uji disinfeksi *E.coli* melalui proses kavitas *water jet* dengan tiga variasi konsentrasi.

1. Mempipet 20 mL larutan induk *E.coli* dan memasukkannya ke dalam reservoir yang telah berisi 1800 mL air suling (konsentrasi larutan  $10^6$  CFU/mL)
1. Mengambil sampel sebelum dilakukan proses disinfeksi
2. Memasukkan larutan dengan konsentrasi *E.coli*  $10^6$  CFU/mL ke dalam reaktor
3. Memasukkan koil ke dalam reaktor dan menyalakan *thermo circulator*.
4. Menyalakan pompa untuk sirkulasi larutan dalam sistem
5. Mengatur valve pada aliran utama dan aliran by pass sehingga diperoleh kecepatan aliran sebesar 12 L/menit
6. Membaca nilai suhu dan tekanan dan mengambil sampel dari sampling port setiap 15 menit selama 1 jam dan memasukkannya ke dalam botol sampel
7. Mengulang langkah 1-6 untuk konsentrasi awal *E.coli*  $10^5$   $10^4$  CFU/mL
8. Menganalisis kandungan *E.coli* dalam sampel

### 3.5.6. Disinfeksi Bakteri *E.coli* Melalui Proses Kavitasi *Water Jet* dengan Laju Alir dan Konsentrasi Optimal Tanpa Menggunakan Pendingin.

Berikut merupakan prosedur uji disinfeksi *E.coli* melalui proses kavitasi *water jet* pada laju alir serta konsentrasi optimal tanpa menggunakan pendingin.

1. Mempipet 20 mL larutan induk *E.coli* dan memasukkannya ke dalam reservoir yang telah berisi 1800 mL air suling (konsentrasi larutan  $10^6$  CFU/mL)
2. Mengambil sampel sebelum dilakukan proses disinfeksi
3. Memasukkan larutan dengan konsentrasi *E.coli*  $10^6$  CFU/mL ke dalam reaktor
4. Menyalakan pompa untuk sirkulasi larutan dalam sistem
5. Mengatur valve pada aliran utama dan aliran by pass sehingga diperoleh kecepatan aliran sebesar 12 L/menit
6. Membaca nilai suhu dan tekanan dan mengambil sampel dari sampling port setiap 15 menit selama 1 jam dan memasukkannya ke dalam botol sampel
7. Menganalisis kandungan *E.coli* dalam sampel

### 3.6. Analisis Sampel

Sampel berupa air yang telah terkontaminasi *E.coli* yang telah mengalami proses disinfeksi diambil dari sampling port yang terdapat pada reaktor. Pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit selama 30 menit. Sampel yang diambil dari setiap variasi yang dilakukan selanjutnya dianalisis. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi bakteri *E.coli* yang terdapat dalam sampel. Metode yang digunakan adalah metode *Total Plate Count* (TPC) dengan menggunakan media diferensial selektif untuk bakteri *E.coli*. Prosedur uji TPC pada sampel air keluaran dari proses disinfeksi ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan 3 cawan petri yang sudah disterilisasi di dalam oven pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.

2. Menyiapkan larutan CCA dalam erlenmeyer dengan konsentrasi 1% menggunakan pelarut air suling pada suhu 100 °C dan mengaduknya hingga larut
3. Memasukan Erlenmeyer yang berisi larutan CCA ke dalam autoclave selama 20 menit dan menunggunya hingga dingin
4. Memasukan larutan CCA ke dalam cawan petri dengan volume 10 mL.
5. Membiarkan agar mengeras dan memasukkannya ke dalam lemari pendingin
6. Mengeluarkan cawan berisi CCA dari lemari pendingin dan menghilangkan embun yang terbentuk di permukaan luar cawan
7. Mengambil 1 mL larutan sampel air dari botol sampel dan memasukkannya ke dalam tabung reaksi 1 yang berisi 9 mL air suling lalu dikocok untuk dilakukan pengenceran  $10^{-1}$  kali.
8. Mengambil 1 mL larutan sampel dari tabung reaksi 1 dan memasukkannya ke dalam tabung reaksi 2 yang berisi 9 mL air suling, dikocok dalam tabung reaksi 2 untuk kemudian dilakukan pengenceran  $10^{-2}$  kali.
9. Proses pengenceran dilakukan sesuai dengan perkiraan awal konsentrasi *E.coli* dalam sampel dengan tahapan yang sama seperti dilakukan diatas.
10. Mengambil 0,1 mL sampel dari dua tabung pengenceran terakhir dengan pipet ke dalam cawan petri yang berisi CCA (selama penuangan dilakukan pemindahan secara aseptik dengan penutup cawan tidak boleh dibuka terlalu lebar untuk menghindari kontaminasi dari luar)
11. Meratakan sampel di atas permukaan CCA dengan menggunakan spatel
12. Seluruh cawan diinkubasi pada suhu 35-37 °C selama 24 jam dengan posisi terbalik dan kemudian perhitungan jumlah mikroorganisme dihitung setelah masa inkubasi berakhir.
13. Menghitung koloni bakteri per mL air dengan menggunakan persamaan (ISO 4883:2003) :

$$N = \frac{\sum C}{v \times d} \quad (3.4)$$

Dimana :

N = Jumlah koloni mikroorganisme (CFU/mL)

$\Sigma C$  = Total koloni yang terhitung di plate (CFU)

V = Volume inokulasi (mL)

d = jumlah pengenceran

Data yang diperoleh kemudian diplotkan ke dalam grafik. Grafik yang dibuat merupakan hubungan antara jumlah bakteri dengan waktu untuk masing-masing variabel. Grafik yang dibuat adalah grafik perubahan jumlah *E.coli* terhadap waktu untuk variasi laju alir serta konsentrasi awal. Selain itu pada kondisi optimal yang didapatkan juga dilakukan uji disinfeksi tanpa menggunakan pendingin, sehingga dibuat plot grafik untuk membandingkan suhu antara proses dengan dan tanpa menggunakan pendingin. Untuk mengetahui efektivitas disinfeksi pada tiap variabel penelitian, maka dihitung persen disinfeksinya dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$\% \text{ Disinfeksi} = \frac{\text{konsentrasiAwal} - \text{Konsentrasisetelahdisinfeksi}}{\text{konsentrasiaawal}} \times 100\% \quad (3.5)$$

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan efektivitas kavitasasi *water jet* pada disinfeksi bakteri *E.coli*, serta menemukan parameter optimal yang meliputi laju alir serta waktu kontak untuk mendapatkan rentang konsentrasi *E.coli* yang dapat didisinfeksi secara optimal. Pada bab ini akan dipaparkan hasil dari penelitian yang dilakukan serta pembahasannya. Pengaruh kavitasasi *water jet* pada disinfeksi *E.coli* ini dilihat dari variasi laju alir yang merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh pada kavitasasi hidrodinamika yang juga berpengaruh pada tekanan yang dihasilkan. Selain parameter tersebut, waktu serta konsentrasi *E.coli* yang dapat didisinfeksi secara optimal juga akan dianalisis dan dibahas pada bab ini. Kesemua parameter yang akan dianalisis didasarkan pada konsentrasi *E.coli* yang terdapat pada sampel yang diambil selama penelitian.

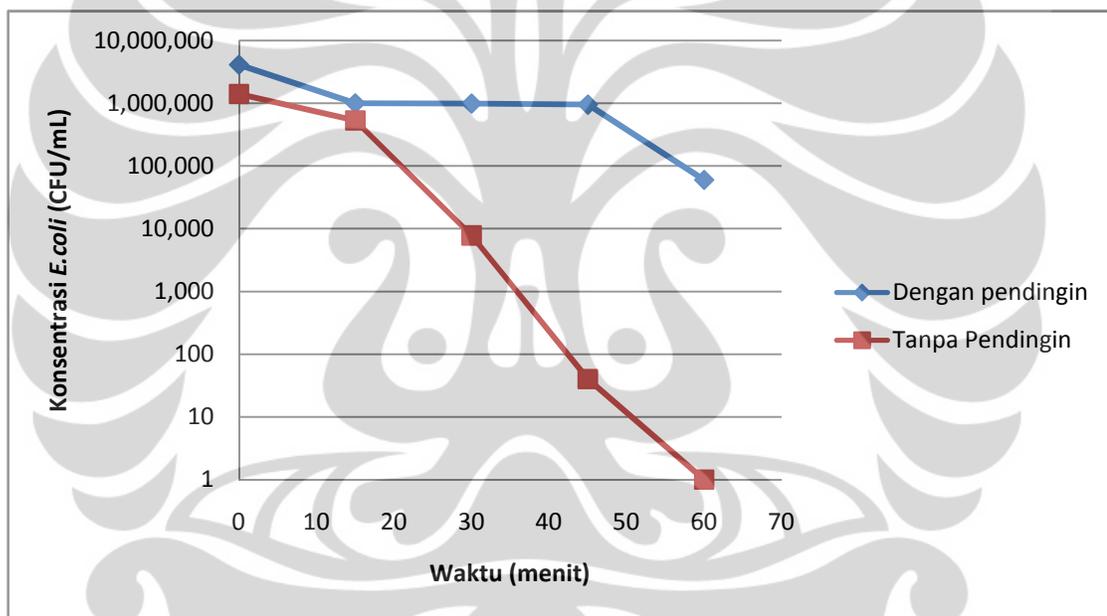
#### 4.1. Uji Sirkulasi

Uji sirkulasi dilakukan dengan mensirkulasi air yang telah terkontaminasi bakteri *E.coli* dengan konsentrasi  $10^6$  CFU/mL tanpa menggunakan injektor *water jet*. Kondisi operasi dari proses sirkulasi ini adalah kedua valve baik pada aliran utama maupun *by pass* dibuka penuh sehingga menghasilkan tekanan 0 atm dengan laju alir sebesar 12 L/menit.

Uji sirkulasi ini dilakukan untuk mengetahui efek hidrodinamika yang ditimbulkan oleh pompa dan *fitting* terhadap kelangsungan hidup bakteri *E.coli*. Dengan melakukan uji sirkulasi, dapat dibandingkan kemampuan disinfeksi proses yang hanya disirkulasi dengan yang memanfaatkan efek kavitasasi *water jet*.

Uji sirkulasi dilakukan untuk mengetahui apakah efek mekanis yang ditimbulkan dari aliran air melewati pipa dan pompa dapat mempengaruhi kelangsungan hidup *E.coli*. Proses sirkulasi dilakukan tanpa menggunakan injektor *water jet* sehingga tidak terdapat perubahan geometri aliran yang diharapkan dapat menghasilkan gelembung kavitas yang dapat merusak sel *E.coli*. Sehingga lewat proses sirkulasi ini pengurangan jumlah *E.coli* terjadi bukan karena proses kavitas *water jet*.

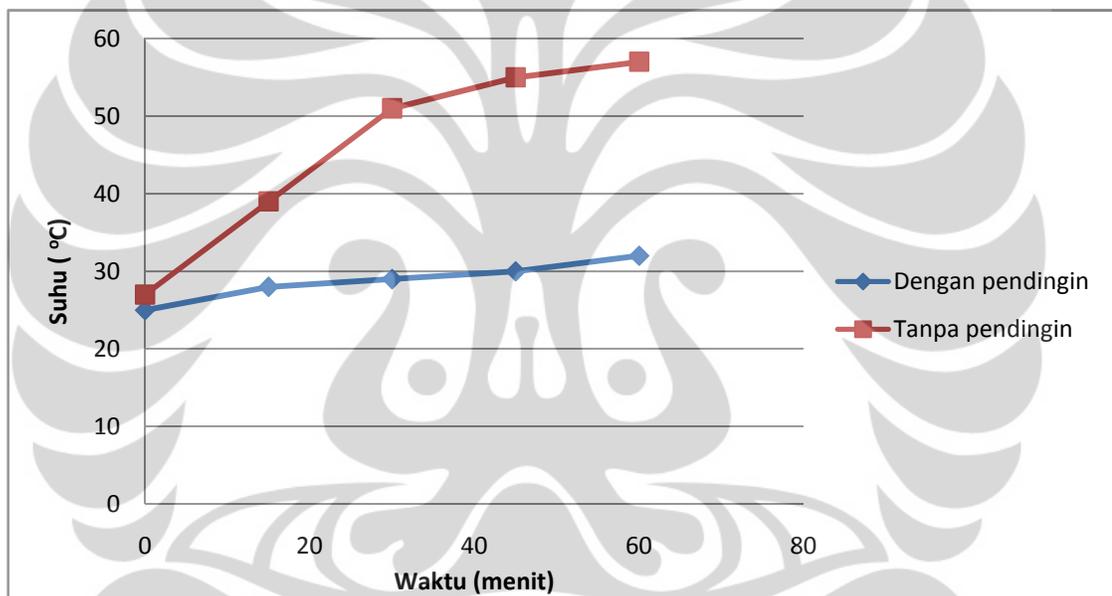
Uji sirkulasi dilakukan dua kali yaitu dengan dan tanpa menggunakan pendingin. Hasil dari uji sirkulasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.1.** Grafik Hubungan Konsentrasi *E.coli* dan Waktu pada Uji Sirkulasi

Dari data pada Gambar 4.1 diketahui bahwa penurunan jumlah *E.coli* pada uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin terjadi sangat signifikan hingga pada menit ke 60 dimana tidak lagi terdapat *E.coli* pada sampel. Pengurangan ini mungkin ditimbulkan karena beberapa hal diantaranya oleh turbulensi aliran yang terbentuk selama proses sirkulasi dan pecahnya gelembung makro yang timbul akibat tumbukan antara aliran menurun dari pipa yang terhubung dengan keluaran pompa dengan air

yang terdapat pada reservoir. Terdapat beberapa gelembung makro yang terbentuk akibat tumbukan tersebut dan pecahnya gelembung ini juga menghasilkan tekanan yang dapat merusak sel meskipun pengaruhnya tidak sebesar yang ditimbulkan oleh proses kavitasi dimana gelembung mikro terbentuk dan menghasilkan kondisi yang ekstrem saat gelembung tersebut pecah. Selain pengaruh mekanis terdapat pula pengaruh suhu yang sangat berperan dalam pengurangan jumlah bakteri *E.coli* pada uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin ini. Gambar 4.2 merupakan grafik yang menggambarkan kenaikan suhu yang terjadi dalam selang waktu 60 menit selama uji sirkulasi dengan dan tanpa menggunakan pendingin.



**Gambar 4.2.** Grafik Kenaikan Suhu Selama Uji Sirkulasi

Pada uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin, suhu terus menerus naik secara signifikan hingga mencapai nilai 55 °C pada menit ke 45 dan 57 °C pada menit ke 60. Kenaikan suhu ini sebagian besar dipengaruhi oleh kerja yang dilakukan oleh pompa. Dimana pompa mengubah energi listrik menjadi energi kinetik dalam bentuk putaran impeller yang menyebabkan peningkatan kecepatan fluida yang mengalir di dalamnya. Proses inilah yang menyebabkan terjadinya gesekan yang amat besar antara fluida dalam hal ini air dengan impeller. Hal tersebut memungkinkan

terjadinya kenaikan temperatur air. Kenaikan temperatur tersebut terus terjadi dan terakumulasi dikarenakan sistem yang digunakan merupakan sistem tertutup dimana air terus disirkulasi dalam waktu satu jam, sehingga perpindahan panas yang terjadi antara air dan peralatan tidak cukup efektif untuk menurunkan temperatur air. Bakteri *E.coli* akan bertahan selama satu jam pada suhu 55 °C dan lima belas menit pada suhu 60 °C. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa berkurangnya jumlah *E.coli* yang sangat signifikan kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor suhu, dimana suhu akhir yang dicapai pada uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin merupakan suhu kritis dalam kelangsungan hidup *E.coli*.

Untuk mengeliminasi pengaruh suhu pada proses disinfeksi *E.coli*, maka digunakanlah pendingin pada sistem. Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa untuk uji sirkulasi dengan menggunakan pendingin, suhu tertinggi yang dicapai dari uji sirkulasi hanya sebesar 32 °C dimana suhu tersebut masih masuk ke dalam rentang suhu dimana *E.coli* dapat tumbuh dengan baik. Seiring dengan hal tersebut, dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pengurangan konsentrasi *E.coli* kurang signifikan jika dibandingkan dengan uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin. Dari hasil uji sirkulasi menggunakan pendingin, untuk konsentrasi awal *E.coli* sebesar  $4,1 \times 10^6$  CFU/mL didapatkan konsentrasi akhir sebesar  $6 \times 10^4$  CFU/mL. Hasil tersebut memperlihatkan terdapat penurunan jumlah *E.coli* sebanyak kurang lebih  $4 \times 10^6$  CFU/mL selama proses sirkulasi 60 menit. Konsentrasi akhir yang masih sangat besar dan masih jauh di luar ambang batas yang ditentukan ini membutuhkan proses yang memiliki kemampuan membunuh *E.coli* hingga mencapai jumlah yang diinginkan.

#### 4.2. Variasi Laju Alir

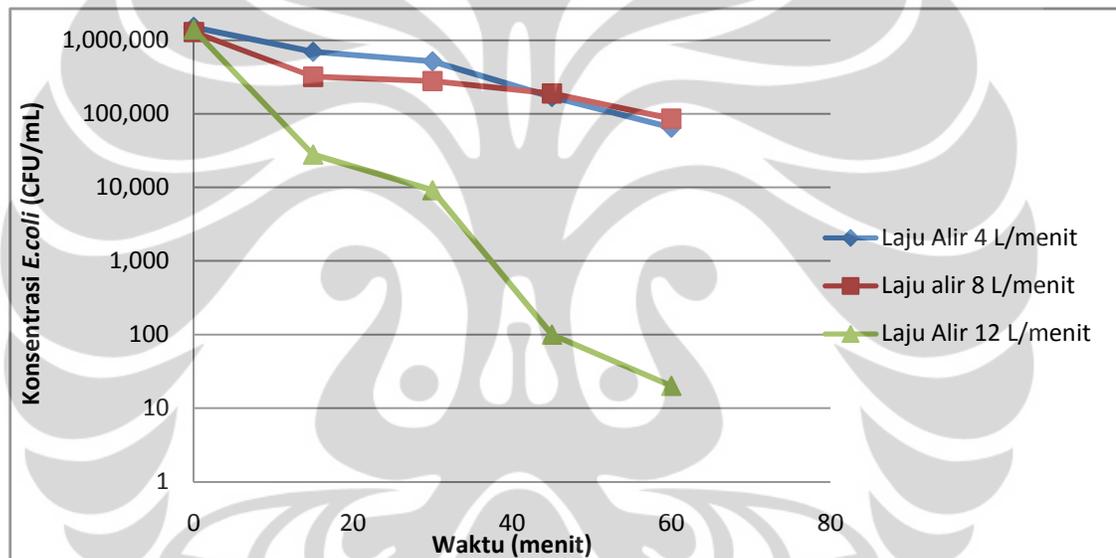
Pada variasi laju alir yang dilakukan dalam proses disinfeksi *E.coli* menggunakan kavitas *water jet* ini, konsentrasi awal *E.coli* untuk setiap laju alir yang digunakan adalah sama yaitu sebesar  $10^6$  CFU/mL. Pada uji disinfeksi ini digunakan injektor *water jet* dengan diameter inlet sebesar 7 mm dan diameter outlet sebesar 4 mm. Sesuai dengan hasil yang didapatkan pada uji sirkulasi dimana suhu

terus meningkat hingga nilai yang dapat mematikan *E.coli*, maka pada uji disinfeksi dengan variasi laju alir ini digunakan pendingin pada sistem sehingga suhu dapat dijaga pada nilai yang diinginkan. Penggunaan pendingin pada rangkaian alat kavitas hidrodinamika juga dilakukan di beberapa penelitian terdahulu (Jyoti dan Pandit, 2001; M.S. Doulah, 1977; Mezule et al., 2009). Laju alir divariasikan pada tiga nilai yaitu 4, 8, dan 12 L/menit. Dimana pengaturan laju alir dilakukan menggunakan valve pada aliran bypass. Perubahan tekanan pada aliran masuk injektor akibat variasi laju alir diukur dengan menggunakan *pressure gauge* yang dipasang pada posisi tersebut.

Gelombang tekanan pada kavitas ultrasonik didefinisikan sebagai frekuensi tekanan operasi dan intensitas (atau amplitudo). Efek dari parameter ini relatif mudah untuk dipelajari, karena dapat dikontrol secara individual menggunakan perangkat konvensional untuk kavitas ultrasonik. Akan tetapi, gelombang tekanan yang dihasilkan pada kavitas hidrodinamika berbeda secara kuantitatif dan kualitatif. Gelombang tekanan pada kavitas hidrodinamika disebabkan oleh cairan yang bergerak dengan kecepatan berubah dan bukan merupakan kondisi dimana cairan dalam keadaan tetap dengan gelombang tekanan yang menyebar. Gelombang tekanan merupakan fungsi dari laju alir dan desain dari *cavitation chamber*. Untuk ketiga laju alir yang divariasikan dihasilkan tekanan yang berbeda. Tekanan yang terbaca pada *Pressure Gauge* untuk laju alir 4, 8, dan 12 L/menit masing-masing adalah 0,15 ; 0,5 ; 1,5 atm. Dari hasil yang didapatkan dapat diketahui bahwa makin besar laju alir, tekanan masukan injektor juga semakin besar.

Pada Gambar 4.3 terlihat konsentrasi awal *E.coli* untuk tiap laju alir adalah sama tetapi pada kondisi sebenarnya konsentrasi awal untuk setiap laju alir tidak bisa didapatkan pada nominal yang sama, hal itu mengingat konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi *E.coli* yang merupakan makhluk hidup yang dapat berkembang biak dan mati tergantung pada keadaan sekitarnya. Prinsip pengenceran *E.coli* dari larutan induk ke dalam reservoir sehingga siap digunakan untuk penelitian merupakan prinsip yang sama dengan pengenceran secara kimia dan hal tersebut

terbukti dapat digunakan meskipun pada nilai yang tidak terlalu tepat. Konsentrasi awal *E.coli* untuk laju alir 4, 8, dan 12 L/menit masing masing adalah  $1,5 \times 10^6$ ;  $1,3 \times 10^6$ ;  $1,4 \times 10^6$  CFU/mL. Nilai tersebut berada pada kisaran yang sama yaitu  $10^6$  sehingga dapat dikatakan konsentrasi awal *E.coli* untuk ketiga laju alir adalah sama. Pada Gambar 4.3. dapat terlihat bahwa untuk konsentrasi awal *E.coli*  $10^6$  CFU/mL terdapat penurunan yang signifikan hingga pada menit ke 60. Untuk konsentrasi awal *E.coli*  $10^6$ , konsentrasi akhir setelah dilakukan proses disinfeksi menggunakan kavitasi *water jet* untuk ketiga variasi laju alir menunjukkan nilai yang berbeda.

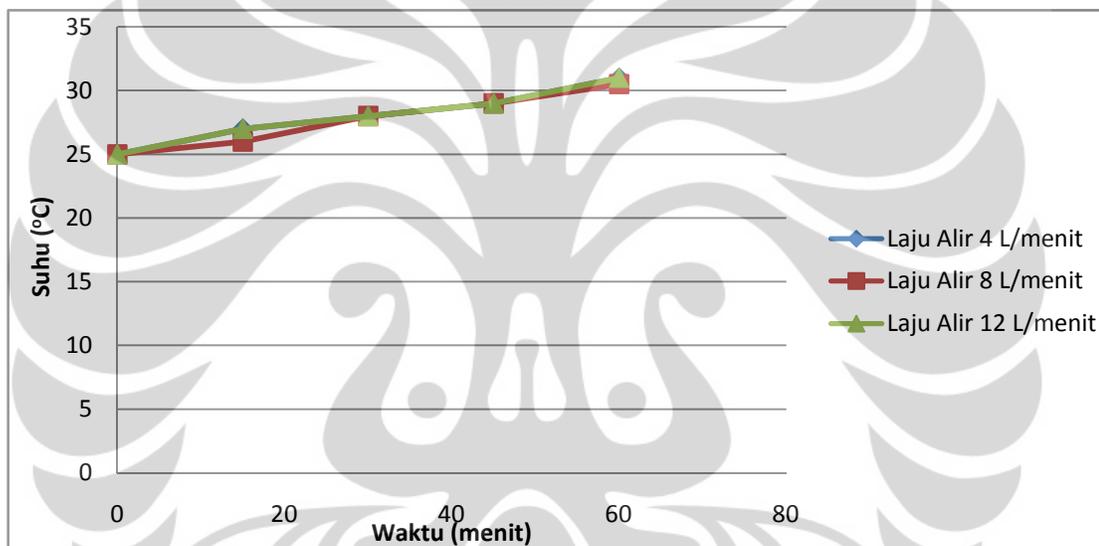


**Gambar 4.3.** Grafik Hubungan Konsentrasi *E.coli* terhadap Waktu pada Variasi Laju Alir

Untuk laju alir 4 L/menit dan 8 L/menit yang memiliki konsentrasi awal  $1,5 \times 10^6$  dan  $1,3 \times 10^6$  CFU/mL menghasilkan konsentrasi akhir yang tidak jauh berbeda yaitu sebesar  $6,5 \times 10^4$  dan  $8,6 \times 10^4$  CFU/mL sedangkan untuk laju alir 12 L/menit yang memiliki konsentrasi awal  $1,4 \times 10^6$  CFU/mL menghasilkan konsentrasi akhir *E.coli* sebesar 20 CFU/mL. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa kavitasi *water jet* memiliki kemampuan untuk proses disinfeksi *E.coli*. Kavitasi, karena efek yang luar biasa dalam hal pembentukan hot spot, radikal bebas yang sangat reaktif dan

turbulensi yang terkait dengan sirkulasi cairan, menawarkan potensi sebagai alat yang efektif untuk disinfeksi air. Kavitas terjadi pada jutaan lokasi dalam reaktor secara bersamaan dan menghasilkan kondisi suhu dan tekanan lokal yang sangat tinggi (tekanan 100–5000 atmdan temperature 500–15000°K)(Gogate dan Kabadi, 2009).

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa terdapat kenaikan suhu sepanjang proses disinfeksi menggunakan kavitas hidrodinamika. Peningkatan suhu tersebut tetap terjadi walaupun pada sistem telah dipasang *thermo circulator* yang berfungsi untuk menjaga suhu agar tetap sesuai dengan yang diinginkan.



**Gambar 4.4.** Grafik Hubungan Suhu terhadap Waktu pada Variasi Laju Alir

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa peningkatan suhu yang terjadi pada selang waktu 15 menit hampir sama untuk setiap nilai laju alir. Suhu pada menit ke 0 dari setiap variasi laju alir dikondisikan pada nilai yang sama yaitu 25 °C dan suhu akan terus naik pada rentang 1-2 °C untuk rentang waktu 15 menit selama 60 menit hingga mencapai suhu akhir pada rentang 30-31 °C. Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam proses disinfeksi dikarenakan karakteristik dari *E.coli* yang memiliki daur hidup yang sangat dipengaruhi oleh suhu. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, *E.coli* tumbuh dengan baik pada suhu optimal yaitu 37 °C dan dapat bertahan hingga suhu 60 °C selama 15 menit atau pada 55 °C selama 60

menit. Peningkatan suhu yang mencapai 31 °C masih dapat ditoleransi dan tidak mempengaruhi hasil yang menunjukkan peran dari kavitasitas *water jet* pada proses disinfeksi *E.coli* ini.

Mekanisme disinfeksi pada proses kavitasitas hidrodinamika merupakan kombinasi dari beberapa mekanisme yang dapat terjadi secara bersamaan, yaitu: (Gogate dan Kabadi, 2009)

- e. Efek mekanis yang disebabkan oleh fenomena kavitasitas. Pembentukan turbulensi, sirkulasi cairan, dan *shear stress*.
- f. Efek kimia dari fenomena kavitasitas termasuk pembentukan radikal bebas
- g. Efek panas, yaitu terbentuknya *local hot spot* (kondisi suhu dan tekanan lokal yang sangat tinggi)
- h. Ketika digunakan dalam kombinasi dengan bahan kimia (Cl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>), gradient tekanan yang kuat meningkatkan penetrasi bahan kimia pengoksidasi melalui membran sel mikroba. Kavitasitas juga dapat memfasilitasi pemecahan dari kumpulan mikroorganisme dalam larutan dan dengan demikian meningkatkan efektivitas disinfektan kimia lainnya

Dari keseluruhan efek yang ditimbulkan oleh proses kavitasitas hidrodinamika di atas, efek mekanis merupakan efek yang lebih dominan dibandingkan dengan efek kimia dan efek panas (Mason et al., 2003). Mekanisme disinfeksi dari efek mekanis ini juga disebabkan oleh beberapa faktor, menurut Engler dan Robinson, tumbukan yang terjadi akibat kecepatan tinggi dari sel yang terlarut pada permukaan dapat merusak dinding sel dari mikroorganisme (Engler dan Robinson, 1981). Menurut Save dkk *shock wave* yang dihasilkan dari perbedaan tekanan menyebabkan pecahnya gelembung dan menjadi penyebab utama dari penghancuran mikroorganisme (Save et al., 1994). Sedangkan Doulah menjelaskan mekanisme kavitasitas pada disinfeksi bakteri berdasarkan teori Kolmogoroff tentang turbulensi isotropik dan analisa dari terbentuknya aliran eddy yang terbentuk karena pecahnya gelembung. Aliran eddy yang terbentuk lebih kecil dari bentuk fisiologis sel sehingga akan memberikan gerakan

dari berbagai arah dan ketika energi kinetik pada isi sel melebihi kekuatan dari dinding sel nya maka sel tersebut akan hancur (M.S. Doulah, 1977).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Balasundaram dan Harrison diketahui bahwa proses dari rusaknya sel *E.coli* karena kavitasi terjadi dalam 3 tahap. Pada tahap pertama membran luar sel yang berlubang memungkinkan hilangnya protein periplasmic. Pada tahap kedua membran sitoplasma selanjutnya terkena efek kavitasi dan oksidasi disebabkan oleh hilangnya keutuhan membran luar dan menyebabkan protein sitoplasma hilang. Lanjutan kavitasi menghasilkan terjadi kerusakan total dari membran luar

Dari hal tersebut diketahui bahwa hal terpenting dalam proses perusakan sel *E.coli* pada proses kavitasi hidrodinamika ini adalah intensitas dari fenomena kavitasi yang terbentuk. Peningkatan intensitas kavitasi terjadi seiring dengan penurunan *cavitation number* sesuai dengan persamaan di bawah ini.

$$C_v = \left( \frac{P_2 - P_v}{(\frac{1}{2})\rho V_2^2} \right) \quad (4.1)$$

Dimana  $P_2$  merupakan tekanan pada daerah *downstream* dimana pada kondisi kavitasi water jet, tekanan tersebut merupakan tekanan ambient,  $P_v$  merupakan tekanan uap air,  $\rho$  merupakan densitas air, dan  $V_2$  merupakan kecepatan aliran pada *throat*. Untuk mencari nilai  $V_2$  digunakan persamaan kontinuitas dimana:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4.2)$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4.3)$$

Dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan 4.1-4.3 didapatkan hasil seperti yang tertulis pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.1.** Nilai *Cavitation Number*

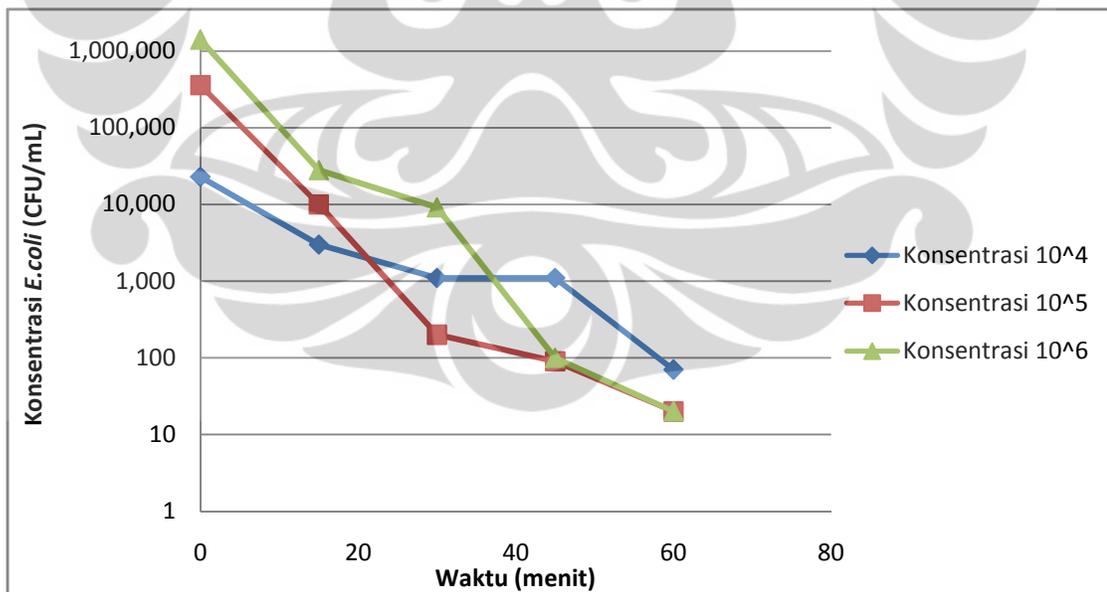
Laju Alir (L/menit)	$V_2$ (m/s)	$P_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$C_v$
4	5,31	3.773,01	6,92
8	10,62	3.699,68	1,73
12	15,92	3.773,01	0,77

Sesuai dengan persamaan 4.1, fenomena kavitasi terjadi jika nilai  $C_v$  kurang dari 1. Dari hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.1 diketahuinya pada laju alir 12 L/menit dihasilkan nilai  $C_v$  dibawah 1. Dengan kata lain fenomena kavitasi hanya terjadi pada variasi laju alir 12 L/menit. Dari persamaan 4.1 juga dapat diketahui jika penurunan nilai *cavitation number* dapat terjadi dengan peningkatan kecepatan aliran dan hal tersebut terbukti dari perhitungan yang telah dilakukan. Pengaruh dari efek kavitasi *water jet* dapat terlihat jelas dari konsentrasi *E.coli* yang didapatkan untuk masing-masing laju alir, dimana untuk laju alir paling besar dimana fenomena kavitasi terbentuk, yaitu 12 L/menit, didapatkan konsentrasi *E.coli* pada menit ke 60 yang paling kecil dibandingkan dua variasi laju alir yang lainnya yaitu sebesar 20 CFU/mL. Konsentrasi *E.coli* untuk masing-masing laju alir 4 dan 8 L/ menit memiliki nilai yang tidak jauh berbeda yaitu  $6,5 \times 10^4$  dan  $8,6 \times 10^4$  CFU/mL. Hal ini disebabkan karena fenomena kavitasi tidak terjadi pada kedua laju alir tersebut sehingga efek yang terjadi pada kondisi dengan kedua laju alir tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil yang didapatkan pada uji sirkulasi.

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian teori, untuk mendapatkan tekanan dan laju alir masukan injektor yang besar, valve pada bagian aliran by pass harus ditutup sepenuhnya. Prosedur tersebutlah yang membuat fenomena kavitasi yang terbentuk selanjutnya disebut sebagai kavitasi *water jet*. Pada kedua variasi laju alir tersebut, valve pada aliran by pass dibuka untuk mengatur laju alir hingga mencapai nilai yang diinginkan. Oleh karena itulah fenomena kavitasi tidak terjadi sehingga tidak memiliki intensitas ataupun kekuatan yang cukup untuk merusak sel *E.coli*. Hal ini sejalan dengan nilai tekanan yang terbaca untuk kedua variasi laju alir ini yang jauh di bawah laju alir saat valve by pass ditutup sepenuhnya dan menghasilkan laju alir maksimum dengan tekanan yang juga maksimum. Dan hasilnya nilai konsentrasi akhir *E.coli* yang didapatkan pada variasi laju alir 4 L/menit dan 8 L/menit memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Dari grafik dan pembahasan yang telah disampaikan, dapat diambil kesimpulan bahwa fenomena kavitasi *water jet* ini terbukti dapat mendisinfeksi bakteri *E.coli* hingga 99,99%.

### 4.3. Variasi Konsentrasi Awal *E.coli*

Pada variasi konsentrasi awal *E.coli* yang dilakukan dalam penelitian ini, kondisi operasi yang digunakan sama seperti pada variasi laju alir, menggunakan injektor *water jet* dengan diameter inlet sebesar 7 mm dan diameter outlet sebesar 4 mm, proses disinfeksi dilakukan terhadap air minum kemasan yang telah terkontaminasi oleh bakteri *E.coli* dengan volume 2 L. Pada variasi konsentrasi awal ini juga digunakan pendingin yang berfungsi menjaga suhu agar tetap pada nilai yang diinginkan sehingga tidak memiliki kekuatan untuk membunuh bakteri. Laju alir yang digunakan pada variasi ini adalah laju alir optimal yang didapatkan pada variasi laju alir, yaitu sebesar 12 L/menit. Konsentrasi awal *E.coli* divariasikan pada tiga nilai yaitu  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  CFU/mL. Konsentrasi awal mikroorganisme merupakan salah satu hal penting dalam proses disinfeksi yang dalam hal ini adalah konsentrasi *E.coli*. Hal ini berkaitan dengan efektivitas metode kavitasasi *water jet* dalam mendisinfeksi bakteri, apakah metode ini dapat menghasilkan efektivitas yang sama untuk rentang konsentrasi yang lebar atau performanya sangat dipengaruhi oleh konsentrasi bakteri yang didisinfeksi.



**Gambar 4.5.** Grafik Hubungan Konsentrasi *E.coli* terhadap Waktu pada Variasi Konsentrasi Awal *E.coli*

Konsentrasi awal untuk ketiga variasi masing-masing adalah  $2,3 \times 10^4$ ,  $3,6 \times 10^5$ , dan  $1,4 \times 10^6$  CFU/mL. Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa terdapat penurunan secara terus menerus untuk ketiga variasi konsentrasi awal *E.coli* hingga pada menit ke 60. Konsentrasi akhir yang diperoleh dari masing-masing konsentrasi awal setelah dilakukan proses disinfeksi memiliki rentang yang sama yaitu pada nilai  $10^1$  CFU/mL. Secara lebih detail, untuk masing-masing variasi konsentrasi awal *E.coli*  $2,3 \times 10^4$ ,  $3,6 \times 10^5$ , dan  $1,4 \times 10^6$  CFU/mL, menghasilkan konsentrasi akhir sebesar 70, 20, dan 20 CFU/mL. Sehingga diperoleh persentase penyisihan untuk masing-masing konsentrasi awal adalah sebesar 99,99%, 99,69%, dan 99,99%

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat tidak terjadi peningkatan konsentrasi bakteri *E.coli* pada menit-menit tertentu seperti yang terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Arrojo dkk, dimana untuk proses disinfeksi dengan kavitasi hidrodinamika dengan menggunakan injektor orifice dan venturi memiliki kecenderungan kenaikan konsentrasi *E.coli* masing-masing pada menit ke 30 dan 5 (Arrojo et al., 2008). Peningkatan yang terjadi pada penggunaan orifice dan venturi dijelaskan merupakan efek dari sifat *E.coli* yang merupakan bakteri aglomerat. Hal ini mungkin menyebabkan bakteri belum terpisah secara sempurna di tahap awal proses disinfeksi. Setelah proses disinfeksi dilakukan menggunakan fenomena kavitasi hidrodinamika, aglomerat yang terbentuk dari beberapa sel bakteri mendapatkan energi yang cukup untuk saling memisahkan selnya. Hal yang sama mungkin seharusnya terjadi pada penelitian yang memanfaatkan kavitasi *water jet* ini karena bakteri yang digunakan juga merupakan bakteri *E.coli*. Hal tersebut tidak terlihat pada Gambar 4.5 dikarenakan selang waktu yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah 15 menit. Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa untuk venturi, kenaikan konsentrasi terjadi di menit ke 5, dan mungkin hal yang sama berlaku pada penelitian menggunakan injektor *water jet*.

Dari Gambar 4.5. diketahui bahwa untuk ketiga variasi konsentrasi awal *E.coli* yang telah mengalami proses disinfeksi menggunakan *water jet cavitation* selama 60 menit, nilai konsentrasi akhir *E.coli* untuk ketiganya memiliki range nilai yang sama

yaitu sekitar  $10^1$  CFU/mL. Hal ini membuktikan bahwa *water jet cavitation* ini dapat mendisinfeksi bakteri dengan konsentrasi awal sampai dengan  $10^6$  hingga pada nilai  $10^1$ CFU/mL. Dengan menggunakan mikroskop melalui perbesaran 1200 kali didapatkan gambar untuk konsentrasi awal *E.coli*  $10^6$  CFU/mL dan konsentrasi akhir *E.coli* sebesar 20 CFU/mL seperti Gambar 4.6.

Dari gambar tersebut dapat diketahui secara jelas bentuk sel *E.coli* seperti yang telah dijelaskan pada bagian teori bahwa *E.coli* berbentuk batang pendek dan gemuk. Dari gambar tersebut dapat terlihat jelas pengurangan jumlah sel *E.coli* dari sebelum dan setelah proses disinfeksi. Hal ini membuktikan bahwa pengurangan sel yang terbaca melalui metode *Total Plate Count* dapat pula dilihat dengan menggunakan mikroskop walaupun jumlahnya hanya mewakili 0,1 mL (atau satu tetes) sampel.



**Gambar 4.6.** Foto Bakteri *E.coli* Menggunakan Mikroskop dengan Perbesaran 1200 Kali Sebelum (a) dan Sesudah Disinfeksi (b)

Dari grafik hubungan konsentrasi *E.coli* dengan waktu baik pada variasi konsentrasi awal *E.coli* ataupun variasi laju alir dapat ditemukan waktu yang optimal untuk proses disinfeksi. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa untuk

rentang 60 menit proses disinfeksi, waktu disinfeksi selama 60 menitlah yang paling optimal.

Waktu menjadi salah satu parameter penting dalam proses disinfeksi. Hal ini dikarenakan tidak semua proses disinfeksi memiliki rentang waktu yang sama untuk dapat menghasilkan konsentrasi akhir bakteri yang sama.

#### 4.3. Pengaruh Pendingin

Untuk mengetahui pengaruh pendingin yang digunakan dalam proses disinfeksi menggunakan kavitasitas *water jet* ini, digunakan injektor *water jet* dengan diameter inlet 7 mm dan diameter outlet 4 mm. Volume air yang akan didisinfeksi adalah sebesar 2 L dengan konsentrasi *E.coli* sebesar  $10^6$  CFU/mL dan laju alir 12 L/menit. Terdapat dua variasi kondisi disinfeksi, yaitu yang menggunakan pendingin dan tidak menggunakan pendingin.

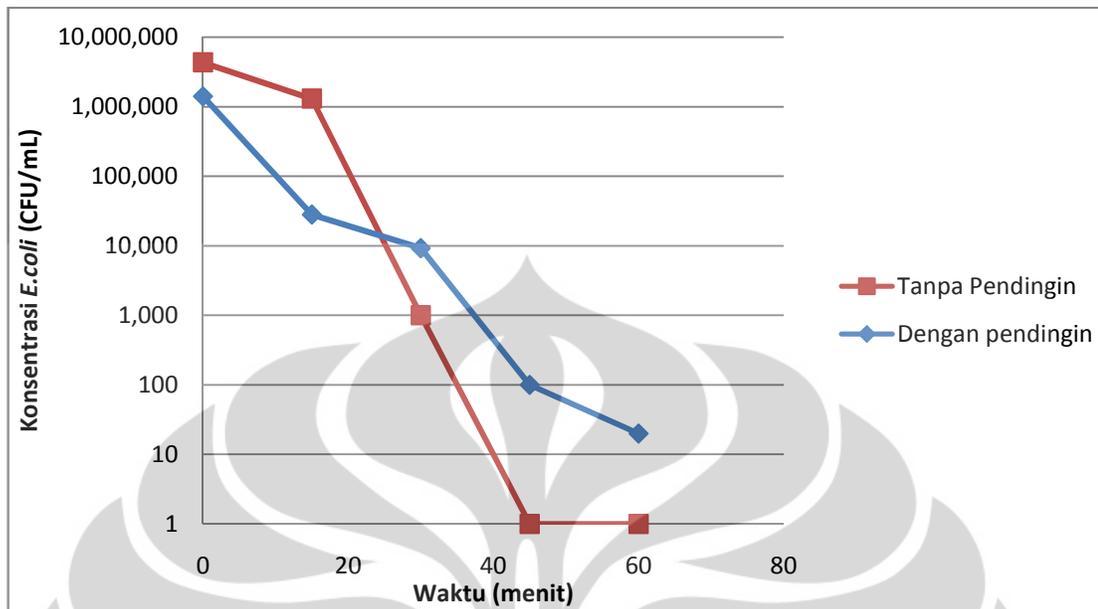
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mezule dkk didapatkan hasil bahwa proses kavitasitas hidrodinamika yang dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya pada kelangsungan hidup *E.coli* menghasilkan peningkatan temperatur yang signifikan selama proses berlangsung. (Mezule et al., 2009). Hal tersebut juga terjadi pada kondisi dimana tidak terdapat pendingin pada sistem disinfeksi. Selama 60 menit proses disinfeksi menggunakan kavitasitas *water jet*, suhu terus mengalami peningkatan hingga mencapai 65 °C. Pada proses sirkulasi tanpa menggunakan pendingin juga terdapat peningkatan suhu yang signifikan hingga pada nilai 57 °C. Bila dilihat selisih suhu antara proses yang menggunakan injektor *water jet* dan tidak menggunakan injektor pada laju alir yang sama, nilainya hanya berbeda 7 °C.. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sebenarnya peningkatan suhu terjadi kemungkinan besar bukan karena efek kavitasitas yang muncul tetapi lebih kepada pengaruh pompa dan fitting yang terdapat pada sistem. Sesuai dengan persamaan Bernoulli seperti yang tertulis di bawah ini, Energi listrik yang diberikan untuk menggerakkan pompa akan diubah oleh pompa ke dalam bentuk peningkatan tekanan, ketinggian, atau

kecepatan antara kondisi masuk dan keluar pompa. Selain itu juga terdapat kerja yang merupakan hasil samping dari efek mekanis yang terjadi dalam pompa. Kerja tersebut merupakan pemanasan yang terjadi baik pada fluida yang mengalir di dalam pompa maupun keadaan sekitarnya, yang dalam persamaan tersebut ditulis sebagai  $\mathcal{F}$ .

$$\frac{-dW_{a.o.}}{dm} = \Delta \left( \frac{P}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} \right) + \mathcal{F} \quad (4.4)$$

Peningkatan suhu sebesar 7 °C pada proses disinfeksi menggunakan injketro *water jet* ini dimungkinkan karena proses kavitasi yang terjadi secara terus menerus. Fenomena kavitasi ini menghasilkan suhu yang tinggi pada saat pecahnya gelembung mikro yang terbentuk. Apabila intensitas kavitasi yang terbentuk pada proses disinfeksi ini sangat besar, pastinya akan terdapat peningkatan suhu pada sistem. Suhu juga dapat semakin meningkat karena air terus disirkulasi, sehingga tidak dimungkinkan terjadinya perpindahan panas yang dapat menurunkan suhu air tersebut.

Pada beberapa variasi sebelumnya dilakukan penambahan *thermo circulator* yang berfungsi untuk mengatur suhu air yang terdapat di dalam reservoir. Hal ini dilakukan agar proses disinfeksi yang terjadi hanya terjadi karena fenomena kavitasi dengan efek fisik dan kimia yang ditimbulkan dan bukan merupakan efek dari panas yang ditimbulkan. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa *E.coli* dapat bertahan hingga suhu 60 °C selama 15 menit atau pada 55 °C selama 60 menit. Sedangkan suhu yang tercatat selama proses disinfeksi berlangsung tanpa menggunakan *thermo circulator* di menit ke 45 suhunya sebesar 60 °C dan pada menit ke 60 sebesar 65 °C.



**Gambar 4.7.** Grafik Hubungan Waktu dan Konsentrasi *E.coli* pada Proses Disinfeksi Dengan dan Tanpa Menggunakan Pendingin

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan konsentrasi akhir dari *E.coli* pada proses disinfeksi dengan dan tanpa menggunakan pendingin. Untuk proses disinfeksi tanpa menggunakan pendingin diketahui bahwa tidak ada lagi *E.coli* yang hidup pada menit ke 45 dengan suhu pada menit tersebut sebesar 60 °C. Sedangkan pada proses disinfeksi menggunakan pendingin, konsentrasi *E.coli* pada menit ke 45 adalah sebesar 100 CFU/mL. Dilihat dari Gambar 4.7., hingga pada menit ke 60 untuk proses disinfeksi menggunakan pendingin tidak dapat menghasilkan konsentrasi akhir *E.coli* hingga nilai 0. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa efek suhu yang dihasilkan dari pompa dan fitting dapat mematikan *E.coli* dalam jumlah yang lebih banyak dan waktu yang lebih singkat. Akan tetapi efek kavitas *water jet* yang ditimbulkan dari proses disinfeksi ini juga memberikan hasil yang baik dilihat dari selisih konsentrasi *E.coli* pada menit ke 45 antara yang menggunakan dan tidak menggunakan pendingin hanya berbeda 100 CFU/mL. Bila dibandingkan persen pengurangannya, untuk proses dengan menggunakan pendingin memiliki persen pengurangan sebesar 99,99% sedangkan yang tanpa menggunakan pendingin sebesar 100%.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai uji disinfeksi bakteri *E.coli* menggunakan kavitasi *water jet* yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Disinfeksi menggunakan kavitasi *water jet* terbukti dapat membunuh bakteri *E.coli* secara efektif untuk rentang konsentrasi  $10^4$ - $10^6$  CFU/mL. Disamping itu, fenomena kavitasi hanya terjadi pada laju alir maksimal yaitu 12 L/menit dan menghasilkan *cavitation number* sebesar 0,77 dengan presentase disinfeksi sebesar 99,99%
2. Untuk masing-masing konsentrasi awal *E.coli* sebesar  $2,3 \times 10^4$ ,  $3,6 \times 10^5$ , dan  $1,4 \times 10^6$ CFU/mL diperoleh persen penyisihan sebesar 99,99%, 99,69%, dan 99,99%, dengan kata lain efektivitas disinfeksi *E.coli* menggunakan kavitasi *water jet* tidak bergantung pada besarnya konsentrasi awal *E.coli* pada rentang konsentrasi  $10^4$ - $10^5$  CFU/mL

#### 5.2. Saran

Saran untuk lanjutan dari penelitian ini diantaranya:

1. Menggunakan sistem pendingin yang terletak di luar reservoir
2. Menggunakan pipa dan injektor dari bahan transparan

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.(2007). Available: <http://www.southwestwaterjet.com/>[Diakses 5 Februari 2011].
- Arrojo S, Y Benito. (2008). A Theoretical Study of Hydrodynamic Cavitation.
- Arrojo S, Y Benito, A M N Tarifa.( 2008). A Parametrical Study of Disinfection with Hydrodynamic Cavitation.
- Bryant E A, George P. Fulton, George C. Budd. (1992). Disinfection AlternativesforSaveDrinkingWater.
- Engler C R, C W Robinson. (1981). Effects of Organism Type and Growth Conditions on Cell Disruption by Impingement.
- Gogate P R, A M Kabadi. (2009). A Review of Applications of Cavitation in Biochemical Engineering/Biotechnology. *Biochemical Engineering*.
- Harris G D, Adams, V.D., Sorensen, D.L., Dupont, R.R. (1987). TheInfluence of Photoreactivation and Water Quality on Ultraviolet Disinfection of Secondary Municipal Wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 59, 781.
- Hestining P, T Sitoresmi. (1996). <http://www.kalbe.co.id/files/%20cdk/files/17>.
- Hwang B-K, H-S Son, J-H Kim, C H Ahn, C-H Lee, J-Y Song, Y-H Ra. (2010). Decomposition of Excess Sludge in A Membrane Bioreactor Using a Turbulent Jet Flow Ozone Contactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16, 602-608.
- Jiang Y, C Pétrier, T D Waite. (2002). Effect of pH on The Ultrasonic Degradation of Ionic Aromatic Compounds in Aqueous Solution. *Ultrasonics Sonochemistry*, 9, 163-168.
- Jyoti K K, A B Pandit. (2001). Water Disinfection by Acoustic and Hydrodynamic Cavitation. *Biochemical Engineering Journal*
- Jyoti K K, A B Pandit. (2004). Ozone and Cavitation for Water Disinfection. *Biochemical Engineering Journal* 9-19.

- Ken, Lisa. (2011). *More E.coli Alerts* [Online]. Available: <http://www.hightechnologyscrubs.com>.
- Kumar S, S Kumar, P A.B. (2000). Experimental Quantification of Chemical Effects of Hydrodynamic Cavitation.
- Loraine G, G Chahine, C-T Hsiao, J-K Choi, P Aley. (2011). Disinfection of Gram-Negative and Gram-Positive Bacteria Using DYNAJETS Hydrodynamic Cavitating Jets.
- M.S. Doulah. (1977). Mechanism of Biological Cells in Ultrasonic Cavitation. *Chemical Engineering Journal*.
- Madigan M T, J M Martinko, P J. (1997). *Biology of Microorganisms*, Prentice Hall.
- Mason T J, E Joyce, S S Phull, J P Lorimer. (2003). Potential Uses of Ultrasound in the Biological Decontamination of Water.
- Mezule L, S Tsyfansky, V Yakushevich, T Juhna. (2009). A Simple Technique for Water Disinfection with Hydrodynamic Cavitation: Effect on Survival of Escherichia Coli.
- Pelczar M J, E C S Chan. (1988). *Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 1*. Jakarta: UI Press.
- Riadi S. (2011). 90 Persen Air Di Jakarta Tercemar E.coli. *Sindonews*.
- Save S S, A B Pandit, J B Joshi. (1994). Microbial Cell Disruption: Role of Cavitation.
- Wang X, J Jia, Y Wang. (2010). Electrochemical Degradation of Reactive Dye in The Presence of Water Jet Cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 515-520.
- Woodruff A W. (1984). *Medicine In The Tropics*.

## LAMPIRAN

Data penelitian pada uji disinfeksi bakteri *E.coli* menggunakan kavitas *water jet*

## A. Uji sirkulasi dengan dan tanpa menggunakan pendingin

**Tabel A.1.** Data proses uji sirkulasi dengan menggunakan pendingin

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	4.100.000
15	28	1.000.000
30	29	990.000
45	30	950.000
60	32	60.000

**Tabel A.2.** Data proses uji sirkulasi tanpa menggunakan pendingin

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	27	1.400.000
15	39	530.000
30	51	7.800
45	55	40
60	57	0

## B. Variasi Laju Alir (4, 8, 12 L/menit)

**Tabel B.1.** Data proses disinfeksi pada laju alir 4 L/menit

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	1.500.000
15	27	700.000
30	28	520.000
45	29	170.000
60	31	65.000

**Tabel B.2.** Data proses disinfeksi pada laju alir 8 L/menit

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	1.300.000
15	26	320.000
30	28	280.000
45	29	190.000
60	30.5	86.000

**Tabel B.3.** Data proses disinfeksi pada laju alir 12 L/menit

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	1.400.000
15	27	28.000
30	28	9.200
45	29	100
60	31	20

C. Variasi Konsentrasi Awal ( $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  CFU/mL)**Tabel C.1.** Data proses disinfeksi pada konsentrasi awal  $10^4$  CFU/mL

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	23.000
15	27	3.000
30	28	1.100
45	29	1.100
60	30	70

**Tabel C.2.** Data proses disinfeksi pada konsentrasi awal  $10^5$  CFU/mL

Waktu (menit)	Suhu ( $^{\circ}$ C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	25	360.000
15	25	10.000
30	26	200
45	27	90
60	29	20

## D. Uji Disinfeksi Tanpa menggunakan Pendingin

**Tabel D.1.** Data proses disinfeksi tanpa menggunakan pendingin

Waktu (menit)	Suhu ( $^{\circ}$ C)	Konsentrasi <i>E.coli</i> (CFU/mL)
0	27	4.300.000
15	45	1.300.000
30	53	1.000
45	60	0
60	65	0