



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI KINERJA *SLOW SAND FILTER* DENGAN
BANTUAN LAMPU *LIGHT EMITTING-DIODE*
(LED) PUTIH**

CARISSA YUMNA EKADEWI
3313100105

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – RE 141581

**STUDI KINERJA *SLOW SAND FILTER* DENGAN
BANTUAN LAMPU *LIGHT EMITTING-DIODE*
(LED) PUTIH**

CARISSA YUMNA EKADEWI
3313100105

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT – RE 141581

**STUDY OF SLOW SAND FILTER PERFORMANCE WITH
THE HELP OF WHITE LIGHT EMITTING-DIODE (LED)**

CARISSA YUMNA EKADEWI
3313100105

Supervisor

Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI KINERJA SLOW SAND FILTER DENGAN
BANTUAN LAMPU LIGHT EMITTING-DIODE (LED) PUTIH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik**

Pada

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

CARISSA YUMNA EKADEWI

NRP. 3313100105

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19500114 197903 1 001



STUDI KINERJA SLOW SAND FILTER DENGAN BANTUAN LAMPU LIGHT EMITTING-DIODE (LED) PUTIH

Nama Mahasiswa : Carissa Yumna Ekadewi
NRP : 3313100105
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Air sumur merupakan sumber utama sebagai air baku air minum bagi masyarakat yang tinggal di daerah perkotaan. Untuk memenuhi kebutuhan air sumur yang bersih terdapat tiga parameter, yaitu parameter fisik yang meliputi bau, rasa, warna dan kekeruhan. Parameter kedua adalah parameter kimia yang meliputi kimia organik dan kimia anorganik yang mengandung logam seperti Fe, Cu, Ca dan lain-lain. Parameter ketiga adalah parameter bakteriologi yang terdiri dari koliform fekal dan koliform total. Cara yang dapat dilakukan untuk membuat air sumur menjadi air minum adalah dengan menggunakan sistem pengolahan *slow sand filter* (SSF) dimana merupakan unit pengolahan air minum dengan memanfaatkan lapisan biofilm yang terbentuk pada media filter. Media geotekstil merupakan media filter yang dapat membantu unit ini untuk menyisihkan polutan seperti kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik.

Tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mengetahui efisiensi penurunan kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) yang dihasilkan dari proses *slow sand filter* dengan lampu LED putih, lalu juga untuk mengetahui kontribusi lampu LED putih dalam menurunkan parameter pencemar, dan untuk mengetahui hasil *effluent* terhadap variabel yang digunakan pada unit SSF. Pada penelitian ini akan digunakan 2 variabel, yaitu variasi jarak lampu ke air dan variasi kecepatan filtrasi. Variasi jarak lampu ke air adalah sebesar 20 cm dan 40 cm, sedangkan variasi kecepatan filtrasi yang digunakan yaitu 0,1 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, 0,2 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan 0,3 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Digunakan arah aliran dari atas ke bawah (*down flow*) pada proses pengolahan.

Ada pula reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED diletakkan di dalam ruangan dan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED diletakkan di luar ruangan.

Hasil penelitian yang menggunakan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ menunjukkan efektifitas dalam penurunan tingkat kekeruhan, penyisihan total *coliform*, dan penyisihan zat organik (KMnO_4) yang paling baik dibandingkan variasi kecepatan filtrasi lainnya. Sedangkan filter yang paling baik dalam menyisihkan ketiga parameter adalah filter dengan lampu LED putih yang memiliki jarak lampu ke air permukaan sebesar 40 cm dibandingkan yang menggunakan lampu LED putih dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 20 cm. Hasilnya juga lebih baik dibandingkan filter yang tidak menggunakan lampu LED yang berada di dalam ruangan maupun yang di luar ruangan.

Kata Kunci: Kekeruhan, LED Putih, *Slow Sand Filter*, Total *Coliform*, Zat Organik

STUDY OF SLOW SAND FILTER PERFORMANCE WITH THE HELP OF WHITE LIGHT EMITTING-DIODE (LED)

Student Name : Carissa Yumna Ekadewi
NRP : 3313100105
Department : Environmental Engineering FTSLK
ITS
Supervisor : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Well water is the main source of raw water for drinking water for the community living in urban areas. To meet the needs of clean well water there are three parameters, that is physical parameters that include odor, taste, color and turbidity. The second parameter is a chemical parameter that includes organic chemistry and inorganic chemistry containing metals such as Fe, Cu, Ca and others. The third parameter is the parameter bacteriology consisting of the faecal coliform and the total coliform. The way that can be done to make well water into drinking water is to use *slow sand filter* (SSF) which is a treatment for drinking water that utilizes biofilm layers formed on the filter media. There is geotextile media that can help that can help this unit to remove pollutants such as turbidity, total coliform, and organic matter (KMnO₄).

The purpose of this research is to know the decreasing efficiency of turbidity, total coliform, and organic substance (KMnO₄) resulting from slow sand filter process with white LED light, and also to know the contribution of white LED light in reducing pollutant parameters, and to know the result of effluent to variable used in SSF unit. In this research will be used two variables that is the variation of the distance between water and LED light and the variation of filtration rate. The variation of the distance between water and LED light is 20 cm and 40 cm, while the variation of the filtration rate is 0,1 m³/m².h, 0,2 m³/m².h, and 0,3 m³/m².h. The flow direction that will be use ini the treatment process is from the top to the bottom (*down flow*). There are

also two control reactor that does not use LED light. The first control reactor is placed indoors and the second control reactor is placed outdoors.

The result of the research using filtration rate $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ showed the effectiveness in decreasing the turbidity level, the removal of total coliform, and the removal of organic matter (KMnO_4) is best compared to other variations of filtration rate. While the best filter in decreasing the three parameters is a filter with a white LED light that has the distance of the lamp to the surface water of 40 cm compared to that using white LED lights with the distance of the lamp to the surface water of 20 cm. The results are also better than filters that do not use LED lights that are indoors or outdoors.

Key Words: Organic Matter, *Slow Sand Filter*, Turbidity, Total Coliform, White LED Lamp

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Studi Kinerja *Slow Sand Filter* dengan Bantuan Lampu *Light Emitting-Diode* (LED) Putih”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M. Eng, Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT., dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph. D selaku dosen pengarah tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya
3. Ibu dan Bapak Laboran Jurusan Teknik Lingkungan yang telah membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium
4. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya
5. Vanny Widiyanti yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. Teman-teman angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Hasil Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Air Baku Air Minum	7
2.2 Karakteristik Air Sumur	8
2.3 Mikroorganisme Air Sumur	8
2.4 Kriteria Kualitas Air Minum.....	9
2.5 Unit <i>Slow Sand Filter</i>	10
2.6 Kriteria Desain Unit <i>Slow Sand Filter</i>	12
2.7 Proses Filtrasi dalam Unit <i>Slow Sand Filter</i>	12
2.8 Lapisan <i>Schmutzdecke</i>	13
2.9 Proses Aklimatisasi pada Unit <i>Slow Sand Filter</i>	14
2.10 Kelebihan dan Kekurangan Unit <i>Slow Sand Filter</i>	15
2.11 Cahaya	16
2.12 Lampu <i>Light Emitting Diode</i> (LED) Putih	18
2.13 Media Geotekstil	19
2.14 Analisis Ayakan / Analisis Saringan Media Tanah.....	20
2.15 Parameter dalam Proses <i>Slow Sand Filter</i>	21
2.16 Metode MPN	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Umum.....	25

3.2 Kerangka Penelitian	25
3.3 Tahapan Penelitian	28
3.3.1 Ide Tugas Akhir	28
3.3.2 Studi Literatur	28
3.3.3 Penelitian Pendahuluan	29
3.3.4 Persiapan Alat dan Bahan.....	29
3.3.5 Pelaksanaan Penelitian.....	36
3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan	38
3.3.7 Kesimpulan dan Saran.....	38
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Analisis Awal	39
4.2 Aklimatisasi.....	40
4.3 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Pertama.....	44
4.3.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan	45
4.3.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total <i>Coliform</i>	49
4.3.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO ₄)	54
4.4 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Kedua.....	58

4.4.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan	59
4.4.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total <i>Coliform</i>	63
4.4.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO ₄).....	67
4.5 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Ketiga	72
4.5.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan	72
4.5.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total <i>Coliform</i>	76
4.5.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO ₄).....	80
4.6 Perbandingan Variabel Penelitian terhadap Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan, Total <i>Coliform</i> , dan Zat Organik	84
BAB 5 PENUTUP.....	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BIOGRAFI PENULIS	125

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Desain Saringan Pasir Lambat Standar WHO	11
Gambar 2.2	Gambar Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya terhadap Pertumbuhan Tanaman.....	17
Gambar 2.3	Panjang Gelombang Sinar Matahari dan Lampu LED	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Kerangka Penelitian	27
Gambar 3.2	Sketsa Reaktor <i>Slow Sand Filter</i> dengan Jarak Lampu LED 20 cm	34
Gambar 3.3	Sketsa Reaktor <i>Slow Sand Filter</i> dengan Jarak Lampu LED 40 cm	35
Gambar 4.1	Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	45
Gambar 4.2	Perbandingan Tingkat Kekeruhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	46
Gambar 4.3	Efisiensi <i>Removal Total Coliform</i> dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	50
Gambar 4.4	Perbandingan Total <i>Coliform</i> tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	51
Gambar 4.5	Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	54
Gambar 4.6	Perbandingan Zat Organik (KMnO ₄) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	56
Gambar 4.7	Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	59
Gambar 4.8	Perbandingan Tingkat Kekeruhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	61
Gambar 4.9	Efisiensi <i>Removal Total Coliform</i> dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	64

Gambar 4.10	Perbandingan Total <i>Coliform</i> tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam.....	65
Gambar 4.11	Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam.....	68
Gambar 4.12	Perbandingan Kandungan Zat Organik (KMnO ₄) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam.....	69
Gambar 4.13	Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	73
Gambar 4.14	Perbandingan Tingkat Kekeruhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	74
Gambar 4.15	Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	77
Gambar 4.16	Perbandingan Total <i>Coliform</i> tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	78
Gambar 4.17	Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	81
Gambar 4.18	Perbandingan Kandungan Zat Organik (KMnO ₄) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	82
Gambar 4.19	Efisiensi <i>Removal</i> Tingkat Kekeruhan Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi.....	88
Gambar 4.20	Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi.....	92
Gambar 4.21	Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ukuran Ayakan Standar SNI	20
Tabel 4.1	Efisiensi <i>Removal</i> Kekerusan saat Aklimatisasi ..	40
Tabel 4.2	Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) saat Aklimatisasi.....	42
Tabel 4.3	Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> saat Aklimatisasi	43
Tabel 4.4	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Tingkat Kekerusan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	48
Tabel 4.5	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	52
Tabel 4.6	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	57
Tabel 4.7	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Tingkat Kekerusan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	62
Tabel 4.8	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	66
Tabel 4.9	Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	70

Tabel 4.10 Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Tingkat Kekeruhan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam ...	75
Tabel 4.11 Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Total <i>Coliform</i> pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam	79
Tabel 4.12 Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Zat Organik (KMnO ₄) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam	83
Tabel 4.13 Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi	85
Tabel 4.14 Efisiensi Penurunan Total <i>Coliform</i> Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi	89
Tabel 4.15 Efisiensi Penurunan Zat Organik (KMnO ₄) Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi	93

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	109
LAMPIRAN B.....	115
LAMPIRAN C.....	121

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air sumur merupakan sumber utama sebagai air baku air minum bagi masyarakat yang tinggal di daerah perkotaan. Air sumur adalah air tanah dangkal sampai kedalaman kurang dari 30 meter yang pada umumnya ada di kedalaman 15 meter dan dinamakan juga sebagai air tanah bebas karena lapisan air tanah tersebut tidak berada di dalam tekanan. Untuk memenuhi kebutuhan air sumur yang bersih terdapat tiga parameter, yaitu parameter fisik yang meliputi bau, rasa, warna dan kekeruhan. Parameter kedua adalah parameter kimia yang meliputi kimia organik dan kimia anorganik yang mengandung logam seperti Fe, Cu, Ca dan lain-lain. Parameter ketiga adalah parameter bakteriologi yang terdiri dari koliform fekal dan koliform total (Waluyo, 2004; dalam Yusuf dkk, 2011).

Dalam proses pengolahan air baku menjadi air minum diperlukan sistem pengolahan yang memenuhi standar kualitas yang ada agar hasilnya berkualitas tinggi dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Sistem pengolahan yang dapat digunakan salah satunya adalah unit *slow sand filter* (SSF). SSF merupakan teknologi pengolahan air yang memanfaatkan *biofilm* yang terbentuk pada media pasir untuk menghilangkan zat pencemar yang ada air baku. Bangunan ini dapat menyaring bakteri ataupun mikroorganisme yang terdapat pada air (Droste, 1997; dalam Amalia, 2014). Sistem bangunan SSF terdiri dari *inlet*, jenis media pasir, sistem *underdrain*, dan sistem *outlet* yang dapat menyisihkan bakteri dalam air hingga 99,9%, menyisihkan padatan tersuspensi sebesar 60 – 65%, menyisihkan BOD sebesar 35 – 55%, dan menyisihkan zat organik dan warna lebih dari 60% (Eri, 2010).

Di dalam SSF terdapat lapisan *schmutzdecke* yang terdiri dari alga yang berbentuk untaian benang dan berbagai jenis organisme lainnya termasuk *plankton*, diatoms, protozoa, rotifer, dan bakteri. Lapisan yang berupa lumpur tipis yang menutupi pasir tersebut mampu mendegradasi partikel tersuspensi, bakteri, dan bahan organik. Terbentuknya lapisan ini membantu menyisihkan 98 – 99.5% dari jumlah bakteri yang terdapat dari air baku (Huisman, 1974; dalam Dini dkk, 2013). Pembentukan lapisan *schmutzdecke* yang matang memerlukan waktu 2-3 minggu tergantung pada makanan yang tersedia (bahan organik pada air baku), kandungan oksigen serta suhu air yang cukup (Ayuningtyas dkk, 2013).

Unit SSF selama ini selalu menggunakan bantuan sinar matahari dalam proses pembentukan *schmutzdecke*. Suhu dari panasnya sinar matahari memengaruhi pertumbuhan bakteri yang ada di *schmutzdecke*. Sedangkan pada penelitian ini yang digunakan adalah lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang berwarna putih. *Light Emitting Diode* (LED) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik atau bisa diartikan sebagai *diode* yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. Lampu LED terdiri dari bahan/material semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dan memancarkannya dalam jumlah besar. Bahan semikonduktor dibungkus dalam plastik sehingga mengonsentrasikan cahaya yang dihasilkan pada arah tertentu (Kurniawati, 2010; dalam Syafriyudin dkk, 2015).

Menurut Nayomi dan Rahardjo (2013), cahaya LED mempunyai sifat warna tertentu dan tersedia pada kisaran warna yang lebar. Adapun panjang gelombang atau spektrum yang dihasilkan LED berkisar antara $400 < \lambda < 450$ sampai $\lambda > 760$. Selain mengeluarkan cahaya, sinar LED juga menghasilkan panas. Suhu panas dari lampu LED berwarna putih juga dapat diatur sesuai dengan panas suhu matahari tergantung dari ukuran intensitas lampunya. Walaupun intensitas dan terangnya lampu LED

tinggi, lampu LED memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan lampu lain, yaitu hingga 80% sampai 90% lebih hemat energi dibanding lampu lain.

SSF pada umumnya jarang digunakan karena unit ini membutuhkan lahan yang luas sedangkan di daerah perkotaan yang memiliki harga tanah yang tinggi membuat unit SSF jarang dijadikan pertimbangan untuk dibangun sebagai sarana pengolahan air minum. Padahal biaya untuk sarana operasi sudah murah dikarenakan tidak membutuhkan bahan kimia apapun dan perawatannya juga mudah dilakukan (Adlin, 2012). Itulah sebabnya apabila bangunan SSF dapat dibangun menjadi bertingkat dan menggunakan lampu sebagai pengganti sinar matahari, maka unit SSF akan dapat menampung lebih banyak kapasitas dan tidak perlu membeli lahan yang luas untuk membangun unit tersebut.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu variasi kecepatan filtrasi sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, variasi jarak lampu LED ke air sebesar 20 cm dan 40 cm sebagai pengganti sinar matahari, dan penggunaan media geotekstil pada SSF. Variasi kecepatan filtrasi diambil berdasarkan kriteria desain menurut Masduqi dan Assomadi (2012) adalah sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ hingga $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Kisaran kecepatan diambil dari yang paling lambat. Variasi jarak lampu LED ke air diambil berdasarkan penelitian yang dilakukan Susilowati dkk (2015) tentang pengaruh jarak lampu terhadap pertumbuhan tanaman dengan variasi jarak 20 cm, 40 cm, 60 cm, dan 80 cm. Hasil dari penelitian yang paling baik adalah yang dengan jarak 20 cm dan diikuti dengan yang berjarak 40 cm. Variasi jarak lampu LED ini dilakukan untuk melihat efisiensi penurunan zat pencemar pada air baku dengan adanya kontribusi lampu LED dalam proses SSF apakah semakin jauh lebih baik atau semakin dekat lebih baik. Penggunaan media geotekstil dikarenakan geotekstil dapat memperbaiki kualitas

effluent yang dihasilkan dengan menurunkan kandungan TSS, bakteri, dan dapat mengakumulasi biomassa (Rooklidge, Burns, dan Bolte, 2005; dalam Ayuningtyas dkk, 2013). Berdasarkan penggunaan variasi variabel tersebut akan menunjukkan hasil *effluent* pada unit SSF yang berbeda antara SSF yang menggunakan lampu LED putih sebagai pengganti sinar matahari, SSF tanpa lampu LED putih yang diletakkan di dalam ruangan, dan SSF dengan sinar matahari.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi penurunan tingkat kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) oleh *slow sand filter* dengan adanya lampu LED putih?
2. Bagaimana hasil kontribusi lampu LED putih dalam efisiensi penurunan kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4)?
3. Bagaimana pengaruh variabel yang digunakan (kecepatan filtrasi dan jarak lampu ke air) dalam menurunkan nilai kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui efisiensi penurunan kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) yang dihasilkan dari *slow sand filter* dengan adanya lampu LED putih.
2. Mengetahui kontribusi lampu LED putih dalam efisiensi penurunan kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4).
3. Mengetahui pengaruh dari variabel yang digunakan (kecepatan filtrasi dan jarak lampu ke air) dalam menurunkan nilai kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4).

1.4 Manfaat Hasil Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan informasi ilmiah tentang penggunaan lampu LED putih 3 Watt dengan jarak tertentu ke air dapat digunakan sebagai pengganti sinar matahari dalam proses SSF.
2. Memberikan rekomendasi desain pengolahan SSF yang tidak membutuhkan sinar matahari sehingga bangunan SSF dapat berbentuk bangunan yang bertingkat dan tidak membutuhkan lahan yang sangat luas serta biaya yang dikeluarkan juga berkurang karena tidak perlu membeli tanah kosong yang luas.
3. Memberikan rekomendasi desain pengolahan SSF untuk negara dengan empat musim, yaitu menggunakan lampu dan bangunan tertutup dengan ventilasi udara untuk oksigen masuk.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
2. Air baku yang dianalisis menggunakan air sumur yang terletak di depan Kantor Urusan Agama (KUA) Mulyorejo, Surabaya.
3. Metoda penelitian menggunakan prinsip filtrasi, yaitu *slow sand filter* dengan menggunakan aliran *down flow*.
4. Parameter yang dianalisis untuk penelitian ini adalah kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4). Analisis yang digunakan untuk parameter kekeruhan adalah dengan menggunakan turbidimeter, untuk parameter total *coliform* adalah *Most Probable Number* (MPN), dan untuk parameter zat organik menggunakan metode *Permanganate Value* (PV).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian ini, akan diamati kinerja *slow sand filter* dengan aliran dari atas ke bawah (*down flow*) untuk mengolah air sumur menjadi air bersih yang tidak keruh, bebas total *coliform*, dan bebas zat organik (KMnO_4) dengan menggunakan lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang berwarna putih 3 Watt sebagai pengganti sinar matahari. Penelitian ini akan dilakukan dengan variasi kecepatan filtrasi dan variasi jarak lampu LED ke air untuk menentukan kombinasi yang paling efektif dalam kinerja *slow sand filter*.

2.1 Air Baku Air Minum

Mengingat pentingnya air bagi kehidupan manusia, Pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yang dimaksudkan untuk menjamin kualitas air bagi kebutuhan hidup bangsa Indonesia. Pada Pasal 8 Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, air dikelompokkan menjadi 4 kelas yaitu:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi tanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Pengertian tentang air baku air minum diatur dalam Pasal 1 angka 1 Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, dijelaskan bahwa air baku untuk air minum rumah tangga, atau sering disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari air permukaan, cekungan air tanah dan/ atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku air minum. Berdasarkan hal tersebut yang dimaksud dengan air baku air minum adalah air yang berasal dari sumber air, yang memenuhi baku mutu tertentu dan digunakan untuk kebutuhan rumah tangga baik diproses maupun tanpa diproses terlebih dahulu, sehingga memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

2.2 Karakteristik Air Sumur

Secara umum kualitas air sumur atau air tanah mempunyai karakteristik tertentu yang berbeda dengan kualitas air permukaan atau sungai. Air tanah pada umumnya jernih, namun sering mengandung mineral-mineral atau garam-garam yang cukup tinggi, sebagai akibat dari pengaruh batuan di bawah tanah yang dilalui oleh air tanah. Pada air tanah dangkal, kualitas dan kuantitasnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di permukaannya. Dalam hal kuantitas sangat dipengaruhi oleh curah hujan setempat, sementara kualitasnya dipengaruhi oleh kondisi sanitasi di sekitarnya (Said dan Wahjono, 1999; dalam Adlin, 2012).

2.3 Mikroorganisme Air Sumur

Menurut Pitojo dan Purwantoyo (2003; dalam Purbowarsito, 2011), mikroorganisme yang hidup di dalam air dapat digolongkan dalam 2 kelompok, yaitu:

1. Mikroorganisme patogen
Mikroorganisme ini dapat menyebabkan penyakit atau gangguan kesehatan. Beberapa contohnya adalah *Salmonella thyposa*, *Shigella dysenteriae*, *Vibrio colerae*, *Salmonella parathypi*, *Salmonella thypi*.
2. Mikroorganisme non patogen
Terdiri atas golongan bakteri *coliform*, *fecal streptococci*, *iron bacteria*, *Actinomyces*.

Mikroorganisme penyebab penyakit (patogen) tidak dapat tumbuh dan berkembang baik dalam air bersih, tetapi dapat bertahan hidup sampai beberapa minggu lamanya. Menurut Yusuf dkk (2011), parameter pencemaran bakteriologi pada air sumur, yaitu koliform fekal dan koliform total karena bakteri ini menyebabkan munculnya penyakit seperti kolera, tipus, diare, disentri, dan lain-lain pada manusia.

Koliform fekal adalah bakteri yang bersifat anaerobik fakultatif yang berbentuk batang, garam negatif, dan tidak membentuk spora. Koliform fekal ini digunakan untuk mendeteksi pencemaran tinja pada air atau sebagai indikator yang paling spesifik untuk mengindikasikan adanya kontaminasi kotoran manusia pada air. Sedangkan yang dimaksud koliform total adalah kumpulan mikroorganisme yang relatif tidak berbahaya yang hidup dalam jumlah besar di usus manusia dan hewan. Ditemukannya koliform total di dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut telah tercemar oleh kotoran manusia dan hewan. Kedua bakteri inilah yang sering ada di dalam air sumur.

2.4 Kriteria Kualitas Air Minum

Kriteria air layak minum harus memenuhi beberapa syarat sesuai dengan kualitas baku mutu air minum. Baku mutu yang digunakan di Indonesia adalah berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air. Air minum yang dikonsumsi harus memiliki kualitas yang baik dan tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Air yang melewati proses pengolahan maupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan adalah air minum yang dapat

langsung diminum. Pada peraturan ini ada parameter wajib dan parameter tambahan sebagai prasyarat kualitas air minum. Total bakteri *coliform* dan kekeruhan termasuk parameter wajib dalam persyaratan kualitas air minum. Total bakteri *coliform* memiliki kadar maksimum yang diperbolehkan adalah 0 jumlah bakteri per 100 mL sampel dan untuk kekeruhan memiliki kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 5 NTU. Sedangkan untuk parameter zat organik (KMnO_4) pada peraturan ini termasuk di dalam parameter tambahan dengan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 10 mg/L.

2.5 Unit *Slow Sand Filter*

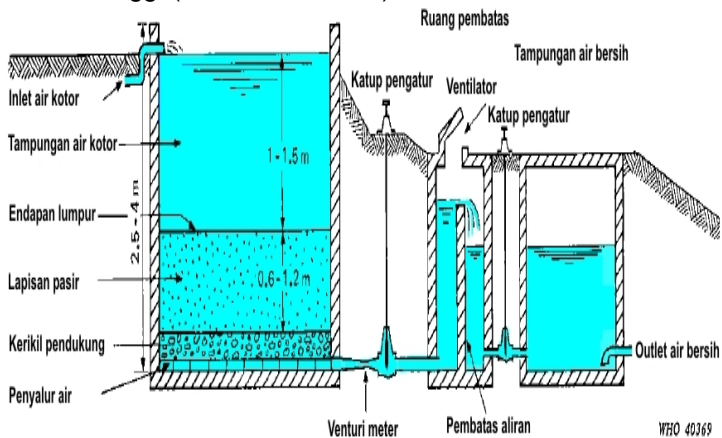
Secara umum, penggunaan bahan kimia dalam proses pengolahan air cukup memengaruhi dalam pertumbuhan mikroorganisme. Unit *slow sand filter* (SSF) termasuk salah satu jenis pengolahan air tanpa menggunakan bahan kimia dan unit ini dapat menurunkan kualitas bakteri terutama bakteri *E.coli* di dalam air (Pacini *et al.*, 2005). SSF merupakan instalasi pengolahan air yang mudah, murah, dan efisien. SSF memiliki nilai efisiensi yang cukup tinggi untuk menyisihkan kekeruhan, rasa, dan bau pada air baku, bahkan mampu menghilangkan bakteri dengan sangat baik (Rahmayanti, 2012).

Menurut Marieanna (2008; dalam Maryani dkk, 2014), proses penyaringan dalam unit SSF berlangsung secara gravitasi, sangat lambat dan simultan pada seluruh permukaan media. Proses penyaringan merupakan kombinasi antara proses fisik (filtrasi, sedimentasi dan adsorpsi), proses biokimia, dan proses biologis. Pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal secara normal dan terus menerus. Tujuan operasi awal adalah untuk mematangkan media pasir penyaring dan membentuk lapisan kulit saringan (*schmutzdecke*), yang kelak akan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses biokimia dan proses biologis (Utomo dkk, 2012).

Menurut Rahmayanti (2012), *schmutzdecke* atau *filter skin* ada pada permukaan pasir yang berbentuk lumpur tipis yang menutupi permukaan pasir tersebut dan di dalamnya

terdapat banyak zat organik yang akan dilewati air sebelum melewati media. Lapisan *schmutzdecke* ini yang akan menurunkan zat – zat pencemar yang terkandung di dalam air baku. Lapisan *schmutzdecke* berperan penting pada unit SSF dan lapisan ini berwarna coklat kemerah-merahan yang sedikit berlendir dan terdiri dari pengurai zat organik, besi, dan mangan. Pada proses pembentukan *schmutzdecke* yang matang memerlukan waktu 2 – 3 minggu, hal ini dipengaruhi oleh suhu dan kandungan biologis (bakteri dan bahan organik) pada air baku.

Ketinggian air kotor di bak penyaring biasanya berkisar 1 sampai 1.5 meter, dan ketebalan lapisan pasir berkisar 0.6 sampai 1.2 meter. Ketebalan dan ketinggian air ini bervariasi dan disesuaikan dengan kondisi sumber air, ukuran butir pasir, keseragaman ukuran butir dan tekanan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kecepatan aliran air melewati saringan pasir lambat. Jika dibutuhkan penyaringan yang lebih baik, maka tebal pasir makin tebal dan karena makin tebal maka aliran air akan semakin lambat dan membutuhkan tekanan yang makin tinggi sehingga ketinggian air diatas saringan juga harus semakin tinggi (Utomo dkk, 2012).



Gambar 2.1 Desain Saringan Pasir Lambat Standar WHO
(Sumber: Utomo dkk, 2012)

Menurut Hadi (2012), terdapat 5 bagian yang berperan penting dalam proses pengoperasian unit SSF terutama dalam proses pengolahan air, yaitu berupa:

- a. Bak penampung supernatan dimana berfungsi menjaga tekanan air yang melewati saringan pasir.
- b. Bagian *inlet*, bagian ini digunakan sebagai pintu masuk air baku yang akan diolah unit SSF.
- c. Bagian media pasir, media pasir yang digunakan memiliki kriteria diameter antara 0,1 – 0,4 mm. Media penyangga yang digunakan berupa batu kali. Bagian ini merupakan tempat berlangsungnya proses purifikasi.
- d. Sistem *underdrain*, bertujuan untuk mendukung media filter dan menanggulangi air yang kemungkinan mengalir di bawah *bed filter*.
- e. Bagian *outlet*, bagian ini digunakan sebagai pintu keluar air hasil olahan unit SSF.

2.6 Kriteria Desain Unit *Slow Sand Filter*

Unit SSF memiliki kriteria desain tertentu yang digunakan sebagai acuan dalam pengoperasiannya. Kriteria desain ini diambil dari beberapa penelitian terdahulu yang selanjutnya dijadikan literatur untuk penelitian selanjutnya. Kriteria desain unit SSF dari beberapa penelitian memiliki hasil yang berbeda-beda. Menurut Tjokrokusuma (1998; dalam Amalia, 2014) beberapa kriteria desain untuk unit SSF, yaitu kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ – $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, lalu menurut Khan (1995; dalam Adlin, 2012) media filter yang digunakan berupa pasir kali yang berdiameter $0,15 \text{ mm}$ – $0,35 \text{ mm}$ dengan ketebalan media menurut kriteria desain Huisman dan Wood (1974; dalam Adlin, 2012) adalah $0,6 \text{ m}$ – $1,2 \text{ m}$. Media penyangga yang digunakan berupa kerikil dengan 2 diameter yang berbeda, yaitu $3 - 4 \text{ mm}$ dengan ketebalan 5 cm dan $10 - 30 \text{ mm}$ dengan ketebalan 10 cm (SNI, 03-3981-1995).

2.7 Proses Filtrasi dalam Unit *Slow Sand Filter*

Menurut Huisman (1974; dalam Amalia, 2014), ketika partikel melewati saringan pasir, proses yang terjadi adalah:

- a. Penyaringan, berupa proses terjadinya penangkapan partikel yang berukuran terlalu besar untuk lolos dari celah di antara butiran pasir. Sedangkan partikel yang lolos akan disaring secara biologis di lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk.
- b. Sedimentasi, berupa proses pengendapan yang terjadi bila partikulat tersuspensi memasuki butiran pasir.
- c. *Inertial and centrifugal forces*, untuk partikel yang memiliki gaya gravitasi lebih besar daripada air di sekitarnya sehingga partikel tersebut akan keluar jalur dan kontak dengan butiran pasir.
- d. Difusi
- e. *Mass attraction*, berupa proses yang berkontribusi dalam proses perpindahan massa dan mekanisme pelekatan dari mikroorganisme.
- f. *Electrostatic and electrokinetic attraction*, berupa proses yang terkait dengan mekanisme pelekatan yang bekerja dengan cara menahan partikel yang telah terbawa ke dalam butiran pasir.

Pengolahan dengan SSF ini berbasis biologis karena sebagian besar proses filtrasi yang terjadi adalah dengan menggunakan lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk di atas media pasir yang memiliki pengaruh dalam mengurangi zat organik dengan mekanisme yang disebut bioadsorpsi.

2.8 Lapisan *Schmutzdecke*

Huisman & Wood (1974; dalam Nugraha, 2016) menegaskan bahwa banyak proses yang terjadi di dalam saringan pasir lambat. Meningkatkan kualitas air berdasarkan aspek fisika, kimia, dan biologi membutuhkan kerja sama dari beberapa elemen di dalam sistem. Dimulai dari pengisian air baku ke dalam saringan pasir lambat. Air baku yang dimasukkan ke dalam filter pasir terdiri dari padatan terlarut yang memiliki partikel besar dan mikroorganisme yang memiliki ukuran partikel lebih kecil. Partikel yang lebih besar akan terendapkan pada permukaan filter dan partikel yang lebih kecil

akan bergabung bersama sehingga lebih mudah untuk diendapkan dan dibersihkan.

Setelah beberapa hari operasi penyaringan pada permukaan pasir akan terbentuk selimut tipis dari material yang mengandung banyak organisme hidup yang aktif, lapisan tipis ini disebut *schmutzdecke* atau biolayer. Lapisan ini terdiri dari *algae*, *plankton*, *diatom*, *protozoa*, *rotifer*, dan bakteri (Huisman & Wood, 1974; dalam Nugraha, 2016). Beberapa proses yang terjadi pada lapisan ini adalah menangkap berbagai jenis mikroorganisme, mencerna, lalu menghancurkan material organik dari air baku. *Algae* yang mati dari lapisan supernatan dan organisme hidup dari air baku juga terdapat pada lapisan ini (Manz, 2004; dalam Nugraha, 2016). Karena *schmutzdecke* merupakan ekosistem aerobik yang membutuhkan oksigen terlarut dalam air, air baku yang masuk harus dialirkan terus menerus untuk memberi jumlah oksigen yang cukup. Apabila aliran air baku yang masuk terhentikan, lapisan *schmutzdecke* akan mati atau tidak aktif (Langenbach, 2010).

2.9 Proses Aklimatisasi pada Unit *Slow Sand Filter*

Pengoperasian unit SSF dilakukan setelah proses aklimatisasi media. Proses aklimatisasi adalah suatu pengkondisian pada media filter agar membentuk lapisan *schmutzdecke* yang mampu menurunkan zat pencemar dalam air baku. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara merendam media biasanya dilakukan kurang lebih dalam kurun waktu 2 – 3 minggu supaya lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk sudah sempurna (Rahmayanti, 2012).

Proses aklimatisasi tergantung pada karakteristik mikroorganisme yang terkandung dalam air baku. Mikroorganisme yang dapat hidup pada proses aklimatisasi ini memiliki daya tahan tubuh yang cukup kuat sehingga masih tetap bertahan hidup. Proses aklimatisasi ini dipengaruhi oleh temperatur untuk mengatur daya tahan tubuh yang berbeda-beda. Apabila mikroorganisme berada dalam kondisi temperatur tidak sesuai dengan tubuhnya maka mikroorganisme tersebut akan mati.

2.10 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Slow Sand Filter*

Pada proses pengoperasian dan kinerjanya, unit SSF memiliki beberapa kelebihan dan juga kelemahan. Berikut ini dapat dilihat kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan unit SSF:

- a. Kelebihan Unit SSF
Unit SSF merupakan instalasi pengolahan air yang mudah, murah, dan efisien (Darsono dan Teguh, 2002). SSF memiliki nilai efisiensi yang tinggi dalam menyisihkan bau, rasa, dan kekeruhan pada air baku dan juga mampu menghilangkan bakteri dengan baik. Menurut Khumalasari (2012), kelebihan dari unit SSF, yaitu sebagai berikut:
 1. SSF mampu menjaga tingkat kekeruhan minimal 10 NTU.
 2. SSF mampu menyisihkan bakteri *coliform* lebih dari 95%.
 3. SSF mampu menyisihkan *Total Organic Compound* lebih dari 10%. *Cryptosporidium oocysts* dan *Gardia cysts* dapat dihilangkan lebih dari 99% dengan penyaringan menggunakan unit SSF.
 4. SSF tidak memerlukan bahan kimia dalam proses pengoperasiannya, padahal biasanya bahan kimia ini merupakan salah satu masalah yang sering dialami dalam proses pengolahan air.
- b. Kekurangan Unit SSF
Kekurangan atau kelemahan dari unit SSF adalah daya penyaringannya rendah sehingga dalam konstruksi membutuhkan area yang luas. Rendahnya data penyaringan disebabkan karena kecepatan air yang mengalir melalui unit SSF sangatlah lambat (Birdi, 1979; dalam Darsono dan Teguh, 2002). Menurut Schulz (1984; dalam Hadi, 2012), kekurangan dari unit SSF, yaitu sebagai berikut:
 1. SSF memerlukan lahan yang relatif luas.

2. Apabila air baku tercemar oleh limbah beracun maka lapisan *film* mikroba tidak akan terbentuk sehingga kualitas bakteriologis efluennya sama dengan saringan pasir cepat.
3. Apabila *algae* terdapat dalam jumlah yang melimpah akan menyebabkan pengerukan lapisan atas menjadi terlalu sering.

2.11 Cahaya

Cahaya berperan utama dalam proses fotosintesis pertumbuhan *microalgae* melalui fitokrom. Fitokrom ini dapat mendeteksi gelombang cahaya dari 300-800 nm dengan sensitifitas maksimum pada cahaya merah (R, 600-700 nm dengan puncak penyerapan pada 660 nm) dan merah jauh (FR, 700-800 nm dengan puncak penyerapan pada 730 nm). Fitokrom sangat respon terhadap perubahan panjang gelombang merah (R) dan merah jauh (FR) dari spektrum cahaya tersebut. Fitokrom berada pada dua bentuk cahaya yang dapat berubah yaitu FR aktif dan R yang tidak aktif. Sinar merah jauh (FR) tidak efisien untuk fotosintesis, sehingga membutuhkan penambahan cahaya dengan panjang gelombang yang lebih rendah agar lebih efisien (Lingga, 2011).

Menurut Campbell dkk (2002; dalam Marwa dkk, 2013), warna merah salah satu yang memiliki panjang gelombang yang paling efektif diserap oleh klorofil dan Brown (1987; dalam Effendi, 2003), menyatakan bahwa spektrum cahaya merah dan jingga merupakan spektrum cahaya yang paling efektif untuk digunakan dalam aktivitas fotosintesis tumbuhan perairan. Sehingga dapat dikatakan bahwa cahaya warna merah dapat memberikan pertumbuhan terbaik bagi mikroalga yang melakukan proses fotosintesis. Menurut Syafriyudin dkk (2015), cahaya warna biru dan merah bagus untuk pertumbuhan tanaman karena klorofil banyak menyerap cahaya warna biru dan merah. Gambar di bawah ini juga menunjukkan bahwa pada panjang gelombang warna biru dan merah, klorofil dapat menyerap cahaya dengan baik.

Wavelength (mm)		Effect on Plant Growth
UV (ultraviolet)	280	Significantly reduces quantum yield and rate of photosynthesis.
	315~400	Promotes pigmentation, thickens plant leaves, and may be used to prevent harmful insects.
Visible Spectrum	440~470	Chlorophyll absorption peaks at 439mm and 469mm. The blue spectrum is the most efficiently absorbed spectrum, promoting mainly vegetative growth.
	510	Quantum absorption in the green spectrum. Little absorption is the yellow spectrum.
	610	No chlorophyll benefit. Efficiently absorbed by algae phycoerythrin and phycocyanin receptors.
	640~660	Chlorophyll absorption peaks at 642mm and 667mm. 660mm is the most vital wavelength for flowering. Speeds up seed germination and flower/bed onset.
	740	Emerson Enhancement Effect - quantum yield of red light and far red light, when shone simultaneously on a plant, increases the rate of photosynthesis.
Infrared	1000~1400	No plant activity detected at this wavelength. Heat generated.

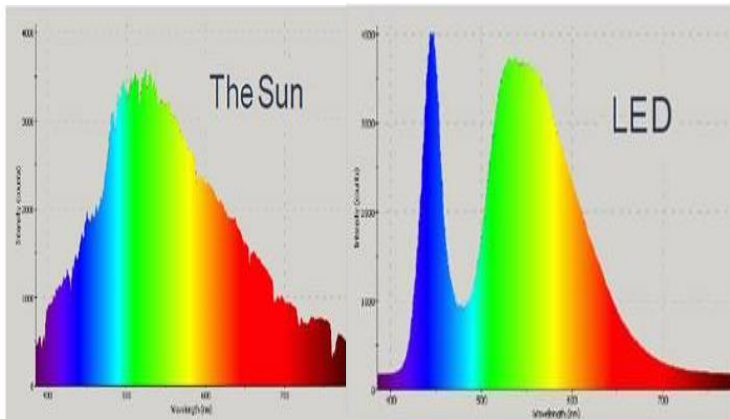
Gambar 2.2 Gambar Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya terhadap Pertumbuhan Tanaman
(Sumber: <http://www.mastergrowled.com/Resources/Wavelengths-for-Effective-Plant-Growth/>)

Adapun sinar ultraviolet mempunyai kemampuan dalam menonaktifkan bakteri, virus, dan protozoa tanpa mempengaruhi komposisi kimia air. Absorpsi terhadap radiasi sinar ultraviolet oleh protein, RNA, dan DNA dapat menyebabkan kematian dan mutasi sel. Oleh karena itu, sinar ultraviolet dapat digunakan sebagai desinfektan. Biasanya sumber ultraviolet buatan berasal dari lampu *fluorescent* khusus, seperti lampu merkuri tekanan rendah dan lampu merkuri tekanan sedang (EPA, 1999; dalam Cahyonugroho, 2010). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini yang digunakan adalah lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang memiliki spektrum cahaya ultraviolet sangat rendah seperti sinar matahari dan memiliki spektrum cahaya yang hampir sama dengan sinar matahari terutama di bagian warna merah dan biru.

2.12 Lampu *Light Emitting Diode* (LED) Putih

Light Emitting Diode (LED) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik atau bisa diartikan sebagai *diode* yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. Semikonduktor adalah material yang dapat bertindak sebagai konduktor (pengantar arus listrik) dan isolator (penahan arus listrik). Lampu LED memancarkan cahaya semata-mata oleh pergerakan elektron pada material. Lampu LED terdiri dari bahan /material semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dan memancarkannya dalam jumlah besar.

Bahan semikonduktor dibungkus dalam plastik sehingga mengkonsentrasikan cahaya yang dihasilkan pada arah tertentu. Bahan plastik penutup dapat juga diberi warna, namun hal ini hanya untuk estetika dan memperkuat tampilan warna yang dihasilkan. Pewarnaan plastik ini tidak berpengaruh pada gelombang warna yang dihasilkan bergantung pada bahan semikonduktor yang dipakai (Kurniawati, 2010; dalam Syafriyudin dkk, 2015). Pada gambar di bawah dapat dilihat bahwa panjang gelombang lampu LED hampir sama dengan sinar matahari pada bagian yang berwarna merah dan biru yang memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan *microalgae*.



Gambar 2.3 Panjang Gelombang Sinar Matahari dan Lampu LED
(Sumber: *Lighting Seminar, Cree Presentation, 2010*)

Setiap lampu LED memiliki intensitas cahaya yang berbeda. Hal ini dapat dipengaruhi oleh luas ruangan yang diterangi cahaya lampu. Adapun satuan intensitas cahaya dalam lux yang merupakan satuan metrik ukuran cahaya pada suatu permukaan (Wibiyanti, 2008). Lux hanya menghitung cahaya sinar pada satu ruang saja, dan angka cahaya terang dari Lux serta seberapa luas cahaya bisa menerangi suatu bidang. Menurut Pariawan (2014), semakin tinggi intensitas artinya semakin tinggi suhu karena gelombang elektromagnetik cahaya melepaskan energi yang menimbulkan panas. Maka bila suatu lampu memiliki intensitas berbeda, suhunya juga akan berbeda.

2.13 Media Geotekstil

Terdapat dua jenis geotekstil, yaitu geotekstil *woven* dan geotekstil *non woven* (Lamy *et al.*, 2013). Media geotekstil memiliki struktur berpori-pori sehingga air mudah masuk dan zat pencemar yang terkandung di air baku akan tersaring. Serat geotekstil membentuk polimer hidrofobik yang menyebabkan mikroorganisme dapat melekat pada permukaan media geotekstil (Rizki dkk, 2013). Selain itu penggunaan geotekstil ini

dapat membantu kinerja unit SSF dalam menurunkan kekeruhan.

Geotekstil diprediksikan dapat mengatasi masalah penyumbatan yang diakibatkan oleh partikel padatan tersuspensi yang terkandung pada air baku. Partikel padatan tersuspensi di dalam air dapat digunakan sebagai model penambahan nilai *headloss* dalam penanganan masalah penyumbatan dengan menggunakan geotekstil (Faure *et al.*, 2006). Polutan yang berada pada air baku kemungkinan akan menempel pada media geotekstil dan secara otomatis lapisan *schmutzdecke* akan terbentuk sebab polutan tersebut merupakan nutrien bagi mikroorganismenya (Dini dkk, 2013). Geotekstil berbeda dengan geomembran karena geomembran adalah lapisan kedap air yang juga lebih rentan hancur dibandingkan geotekstil (Suhendra, 2011). Itulah sebabnya pada penelitian ini yang digunakan adalah geotekstil *non woven*.

2.14 Analisis Ayakan / Analisis Saringan Media Tanah

Analisis yang digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran tanah yang partikelnya memiliki diameter lebih besar dari 0,075 mm disebut analisis saringan. Prinsip yang dilakukan dalam analisis ini adalah menggetarkan dan mengayak contoh tanah melalui satu set ayakan yang memiliki lubang-lubang ayakan yang akan semakin kecil ukuran lubangnya secara berurutan. Nomor ayakan dan ukuran yang berstandar SNI 3423:2008 dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Ukuran Ayakan Standar SNI

Alternatif Satuan	Standar Ukuran (mm)	Alternatif Satuan	Standar Ukuran (mm)
3 inchi	75	No. 10	2
2 inchi	50	No. 16	1,18
1,5 inchi	37,5	No. 30	0,6
1 inchi	25	No. 40	0,425
¾ inchi	19	No. 50	0,3

Alternatif Satuan	Standar Ukuran (mm)	Alternatif Satuan	Standar Ukuran (mm)
3/8 inchi	9,5	No. 100	0,15
No. 4	4,75	No. 200	0,075
No. 8	2,36		

Sumber: SNI 3423, 2008

2.15 Parameter dalam Proses *Slow Sand Filter*

Adapun parameter yang akan diuji dalam proses SSF, yaitu sebagai berikut:

a. Tingkat Kekeruhan Air

Menurut ISO (1999; dalam Nasrudin dan Dzulkifli, 2015), kekeruhan (*turbidity*) adalah keadaan suatu zat cair yang transparansinya berkurang akibat adanya zat padat yang tidak terlarut, baik yang bersifat organik maupun anorganik, yang turut tercampur. *Turbiditymeter* adalah alat pengujian air yang memiliki fungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air. Air yang keruh akan menyebabkan cahaya yang melewatinya akan mengalami pengurangan intensitas cahaya yang signifikan. Hal tersebut dapat terjadi karena cahaya yang melewati air keruh mengalami proses absorpsi, pemantulan atau refleksi, pembiasan, dan diteruskan atau transmisi.

b. Total *Coliform*

Bakteri *coliform* merupakan bakteri indikator di dalam air untuk mengetahui adanya pencemaran tinja dalam analisis kualitas air. Keberadaan *coliform* dalam air dapat menunjukkan adanya pencemaran oleh mikroorganisme patogen penyebab penyakit. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan (Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010), kehadiran bakteri *coliform* tidak diharapkan dalam air minum dengan kadar yang diijinkan adalah sebesar 0 jumlah bakteri/100 ml sampel. Penentuan jumlah bakteri *coliform* menggunakan metode MPN, dimana Tabel Hopkins sebagai acuan dalam

menentukan jumlah kandungan bakteri *coliform* dalam sampel air (Maryani dkk, 2014)

c. Zat Organik (KMnO₄)

Dalam PERMENKES no. 492/Menkes/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, kandungan zat organik (KMnO₄) yang diijinkan dalam air minum adalah 10 mg/L. Menurut penelitian yang dilakukan Astari (2009), pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam efisiensi *removal* zat organik dapat mencapai 60% hingga 100% dengan masa aklimatisasi 3 minggu. Hal ini dikarenakan pada media filter telah tumbuh lapisan biofilm sehingga dapat mereduksi zat organik.

2.16 Metode MPN

Metode *Most Probable Number* (MPN) adalah metode dengan menggunakan tabung fermentasi bakteri yang tersuspensi dalam kaldu atau dapat juga disebut *broth media* yang mengandung gizi untuk pertumbuhan bakteri. Kaldu ini diencerkan pada beberapa konsentrasi untuk melihat pertumbuhan bakteri dari hasil beberapa pengenceran tersebut. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan ada atau tidak adanya pertumbuhan bakteri pada tiap volume pengenceran dan didapatkan perkiraan jumlah populasi bakteri secara statis (Alaerts dan Santika, 1984; dalam Adlin, 2012).

Menurut Trihadiningrum (1995; dalam Adlin 2012), adanya pertumbuhan bakteri dapat diketahui bila ada gas pada tabung durham yang merupakan tabung kecil bervolume kurang lebih 2 mL yang ditempatkan dalam tabung fermentasi. Tabung durham ini berisi cairan yang sama dengan yang ada dalam tabung fermentasi dan letaknya terbalik sehingga sebagian gas fermentasi terperangkap di dalam tabung tersebut. Ada tiga tahap pengujian dalam metode MPN, yaitu:

a. Uji Presumptif

Pada tahap ini, uji yang dilakukan adalah uji spesifik terhadap bakteri *coliform*. Bakteri *coliform* mempunyai kemampuan untuk memfermentasi laktosa dengan menghasilkan gas yang dapat dideteksi pada tabung

durham. Sedangkan bakteri tinja lainnya yang tidak tergolong *coliform* tidak dapat memfermentasi laktosa.

b. Uji Konfirmasi

Tahap ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa gas yang terbentuk di dalam tabung durham merupakan hasil dari aktifitas bakteri *coliform*. Oleh sebab itu, biakan pada tabung yang menunjukkan hasil positif diinokulasi pada media selektif *Brilliant Green Lactose Bile Broth*. Apabila ada gas yang terbentuk pada tabung durham, maka dapat disimpulkan bahwa uji konfirmasi ini hasilnya positif.

c. Uji Akhir (*Complete Test*)

Langkah terakhir ini dilakukan pada tabung durham yang hasilnya positif setelah uji konfirmasi. Uji ini dilakukan dengan menggunakan jarum ose. Biakan bakteri yang ada di tabung durham yang hasil uji konfirmasinya positif diinokulasi pada media *Eosin Methylene Blue* (EMB) di cawan petri. Media EMB mengandung *methylene blue* yang bersifat dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram positif. Bakteri *E.coli* akan membentuk koloni berwarna gelap dengan kilauan metalik kehijauan. Sedangkan bakteri *coliform* lainnya, sebagai contoh *Enterobacter Aerogenes* akan membentuk koloni yang tebal, kental, dan berwarna merah muda. Koloni yang dihasilkan dari bakteri *E.coli* selanjutnya diisolasi dan ditumbuhkan pada media miring *nutrient broth agar*. Selanjutnya dilakukan pewarnaan gram. Apabila bakteri yang dihasilkan berbentuk batang dan gram negatif, maka pengujian MPN ini hasilnya positif.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

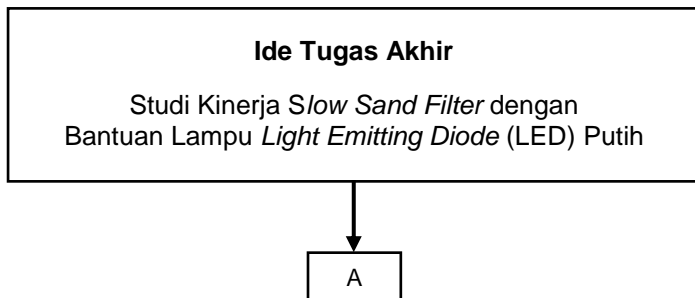
BAB 3 METODE PENELITIAN

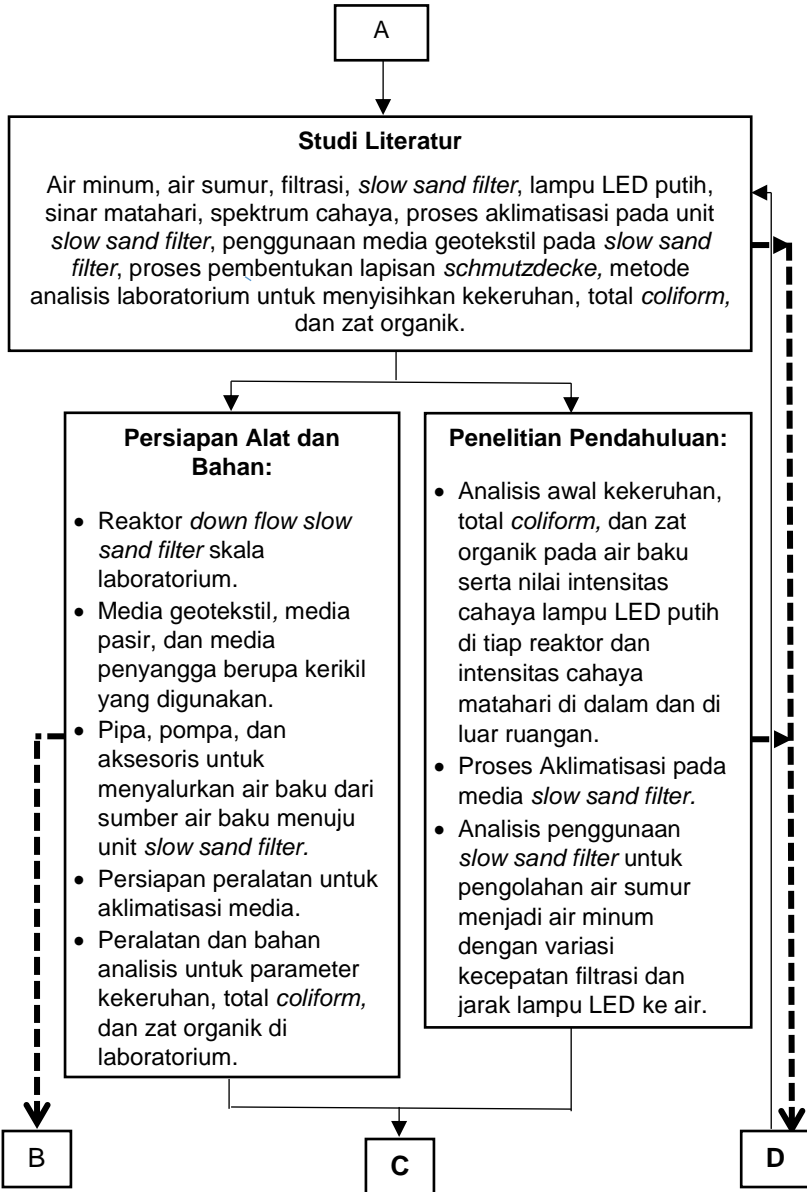
3.1 Umum

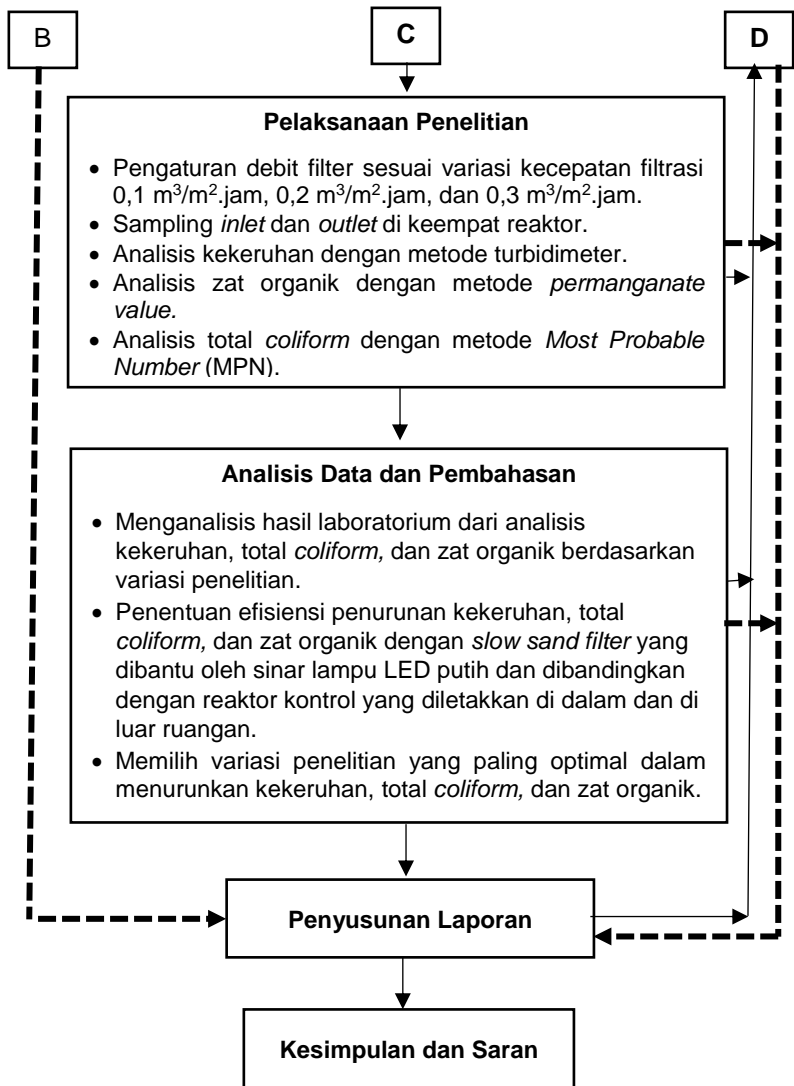
Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan lampu LED berwarna putih sebagai pengganti sinar matahari dalam proses *slow sand filter* dengan aliran *down flow* untuk mengolah air baku. Air baku yang akan diolah adalah air sumur yang ada di depan Kantor Urusan Agama (KUA) Mulyorejo, Surabaya yang kurang baik untuk air minum. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah kekeruhan, total *coliform*, dan kandungan zat organik (KMnO_4). Variasi dalam penelitian ini ada pada jarak lampu LED ke air, yaitu sebesar 20 cm dan 40 cm serta kecepatan filtrasi sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Air hasil olahan dari *down flow slow sand filter* diharapkan dapat memenuhi standar kualitas air minum sesuai dengan PERMENKES RI nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 berdasarkan parameter yang diuji.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berisi mengenai langkah-langkah dalam penelitian ini. Langkah penelitian terdapat pada Gambar 3.1 di bawah ini.







Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tentang langkah – langkah yang dilakukan pada saat penelitian. Tahapan penelitian mencakup ide studi, studi literatur, penelitian pendahuluan, persiapan alat dan bahan, persiapan penelitian laboratorium, pelaksanaan penelitian, analisis data dan pembahasan, kesimpulan dan saran.

3.3.1 Ide Tugas Akhir

Penelitian ini dimulai dari kualitas air sumur di daerah Surabaya yang masih belum dapat dikonsumsi langsung. Air sumur ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat. Adanya kekeruhan, kandungan bakteri *coliform*, dan kandungan zat organik (KMnO_4) menyebabkan kualitas air sumur kurang baik untuk air minum. Oleh sebab itu untuk menghilangkan zat-zat yang tidak diinginkan dalam air minum, maka dapat digunakan filter. Pada penelitian ini filter yang digunakan adalah *slow sand filter* yang dilengkapi dengan sinar yang menggantikan sinar matahari, yaitu sinar dari lampu LED putih dengan jarak lampu ke air yang berbeda. Penggunaan *slow sand filter* dapat meningkatkan kualitas air sumur menjadi air minum bila sesuai dengan PERMENKES RI nomor 492/Menkes/Per/IV/ 2010.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari awal penelitian, penyusunan laporan hingga hasil akhir dan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Studi literatur dilakukan untuk mendukung penelitian tugas akhir yang berasal dari jurnal penelitian, tugas akhir, artikel ilmiah, dan peraturan-peraturan pemerintah yang berhubungan dengan air bersih, air minum, air sumur, proses filtrasi, *slow sand filter*, kekeruhan, kandungan bakteri *coliform*, kandungan zat organik, dan topik lain yang sesuai dengan penelitian.

3.3.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan sumber air baku yang digunakan dalam pengolahan menggunakan *slow sand filter*. Air baku yang dipilih adalah air sumur. Air sumur ini tidak mengandung kadar garam yang tinggi karena unit *slow sand filter* ini memerlukan tumbuhnya mikroorganisme dalam lapisan biofilm untuk menurunkan zat-zat pencemar dalam air minum seperti kekeruhan, kandungan bakteri *coliform*, dan kandungan zat organik. Sedangkan air dengan kadar garam tinggi tidak akan memiliki mikroorganisme yang dapat tumbuh.

Parameter yang diuji adalah kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4). Parameter kekeruhan dipilih sebagai salah satu parameter fisik yang dianalisis dan karena bila kekeruhan di atas 50 NTU, dapat berpengaruh terhadap kinerja *slow sand filter* yang menjadi lebih cepat mengalami *clogging* sehingga tidak bisa bekerja secara optimal (Schulz & Okun, 1984; dalam Adlin, 2012). Parameter total *coliform* dipilih sebagai salah satu parameter biologi yang dianalisis sedangkan parameter zat organik dipilih sebagai salah satu parameter kimia yang dianalisis. Selain parameter tersebut dilakukan juga pengukuran intensitas cahaya lampu LED putih masing-masing reaktor dan intensitas cahaya di dalam dan di luar ruangan dengan menggunakan alat lux meter.

3.3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Reaktor *slow sand filter*

Terdapat empat reaktor yang digunakan dalam penelitian. Dua reaktor sebagai objek penelitian, yaitu reaktor dengan jarak lampu LED ke air permukaan sebesar 20 cm dan 40 cm serta dua

reaktor lainnya sebagai kontrol yang tidak menggunakan lampu LED pada subjek yang diteliti diletakkan di dalam dan di luar ruangan masing-masing satu. Pada keempat reaktor dioperasikan menggunakan arah aliran *down flow*. Reaktor terbuat dari paralon yang memiliki ukuran 4" atau setara dengan 10,16 cm agar tidak ada sinar matahari yang masuk dan terdiri atas media pasir, media penyangga, serta media geotekstil. Ketebalan geotekstil sebesar 6 cm. Selain dari penggunaan media, kecepatan filtrasi juga divariasikan, yaitu 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².jam.

2. Desain Reaktor

Dimensi setiap reaktor yang sudah ditentukan dapat dihitung desain dimensinya, yaitu sebagai berikut:

- Diameter = 10,4 cm
- Ketinggian Reaktor 1 = 160 cm
- Ketinggian Reaktor 2 = 180 cm
- Jarak lampu ke air permukaan 1 = 20 cm
- Jarak lampu ke air permukaan 2 = 40 cm
- *Supernatan* = 14 cm
- *Underdrain* = 5 cm
- Media kerikil lapisan pertama (∅ 3mm- ∅ 4mm) = 5 cm
- Media kerikil lapisan kedua (∅ 10mm- ∅ 30mm) = 10 cm
- Ketebalan media pasir = 100 cm
- Ketebalan media geotekstil = 6 cm
- Luas Reaktor = $\frac{1}{4} \pi D^2$
 = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10,16$
 cm \times 10,16 cm
 = 81,03 cm²
 = 0,0081 m²

- Volume Reaktor 1

$$= \frac{1}{4} \pi D^2 t$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10,16$$

$$\text{cm} \times 10,16 \text{ cm} \times$$

$$160 \text{ cm}$$

$$= 12965,14 \text{ cm}^3$$

$$= 0,013 \text{ m}^3$$
- Volume Reaktor 2

$$= \frac{1}{4} \pi D^2 t$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10,16$$

$$\text{cm} \times 10,16 \text{ cm} \times$$

$$180 \text{ cm}$$

$$= 14585,78 \text{ cm}^3$$

$$= 0,0146 \text{ m}^3$$

Pada perhitungan didapatkan luas reaktor *slow sand filter* sebesar $0,0081 \text{ m}^2$.

Debit yang masuk kedalam reaktor *slow sand filter* dihitung berdasarkan kecepatan filtrasi dan luas dari reaktor. Kecepatan filtrasi yang akan digunakan yaitu sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Debit yang masuk kedalam reaktor dapat dihitung sebagai berikut. Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan kecepatan filtrasi sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

- Q1 = Kecepatan filtrasi x Luas Reaktor

$$= 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2$$

$$= 0,00081 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,81 \text{ L/jam}$$

$$= 19,45 \text{ L/hari}$$

$$= 0,0135 \text{ L/ menit}$$

$$= 13,5 \text{ mL/menit}$$

$$= 0,225 \text{ mL/detik}$$

Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan kecepatan filtrasi sebesar $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

- Q2 = Kecepatan filtrasi x Luas Reaktor

$$\begin{aligned}
&= 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\
&= 0,00162 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 1,62 \text{ L/jam} \\
&= 38,9 \text{ L/hari} \\
&= 0,027 \text{ L/ menit} \\
&= 27 \text{ mL/menit} \\
&= 0,45 \text{ mL/detik}
\end{aligned}$$

Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan kecepatan filtrasi sebesar $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

- Q3 = Kecepatan filtrasi \times Luas Reaktor
$$\begin{aligned}
&= 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\
&= 0,00243 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 2,43 \text{ L/jam} \\
&= 58,34 \text{ L/hari} \\
&= 0,0405 \text{ L/ menit} \\
&= 40,5 \text{ mL/menit} \\
&= 0,675 \text{ mL/detik}
\end{aligned}$$

Pengoperasian *slow sand filter* membutuhkan debit sebesar 0,225 mL/detik untuk kecepatan filtrasi 0,1 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, untuk kecepatan filtrasi 0,2 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dibutuhkan debit 0,45 mL/detik, dan untuk kecepatan filtrasi 0,3 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dibutuhkan debit sebesar 0,675 mL/detik.

3. Lampu LED

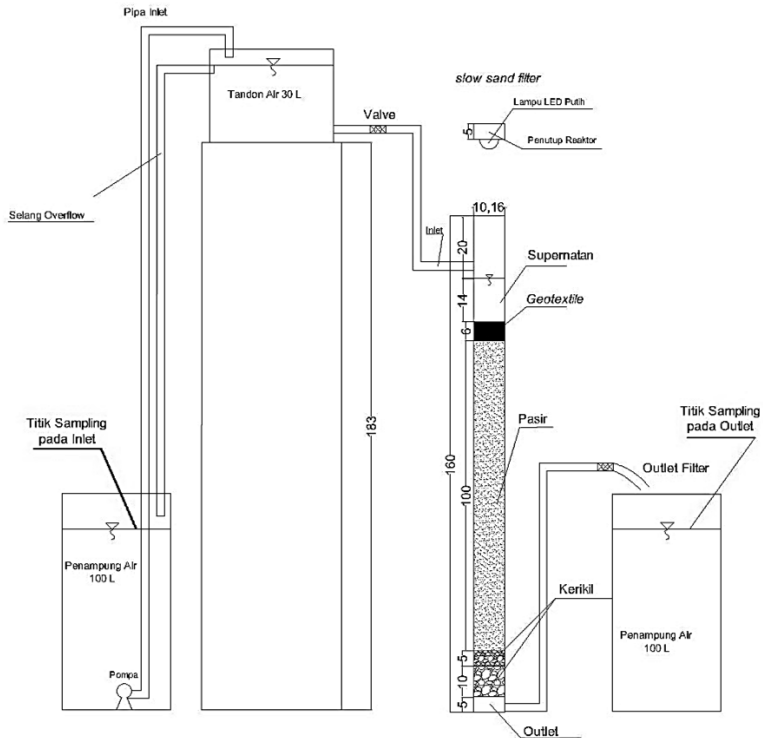
Lampu LED yang akan digunakan adalah lampu LED dengan merek LED *High Power Lamp* dengan intensitas sebesar 3 Watt. Lampu LED yang digunakan masing-masing berjumlah 1 buah untuk tiap reaktor. Reaktor yang menggunakan lampu hanya dua reaktor saja. Sisa dua reaktor lainnya tidak menggunakan lampu dikarenakan sebagai variabel kontrol sehingga digunakan sinar matahari yang diletakkan di dalam ruangan dan di luar ruangan. Lampu LED ditempatkan pada bagian atas reaktor di bagian penutup dan dilapisi, hal ini dilakukan agar reaktor tidak langsung terkena sinar

matahari. Lampu LED divariasikan jaraknya terhadap air permukaan, yaitu dengan variasi jarak sebesar 20 cm pada reaktor 1 dan 40 cm pada reaktor ke 2. Penggunaan variasi jarak lampu LED ke air dimaksudkan untuk melihat efektifitas pengaruh jarak lampu terhadap kualitas *effluent* yang dihasilkan.

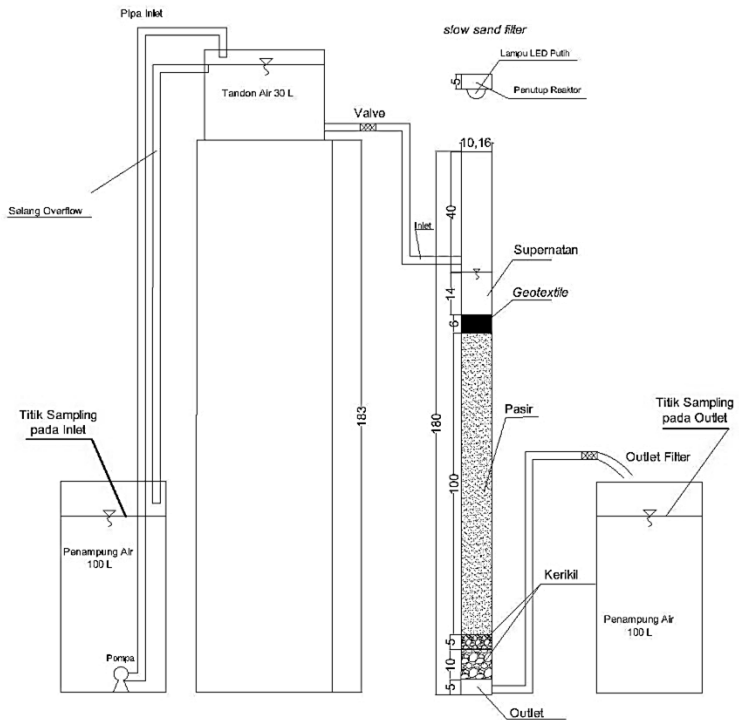
4. Media pasir dan kerikil
Media pasir yang digunakan merupakan jenis pasir kali yang memiliki diameter antara 0,15 mm - 0,35 mm. Pasir kali merupakan media yang sering digunakan untuk *slow sand filter* karena mudah didapat dan berharga murah. Untuk media penyangga menggunakan kerikil dengan diameter 10 – 30 mm dan 3 – 4 mm (SNI 03-3981-1995). Dalam mempersiapkan pasir dan kerikil harus menggunakan analisis ayakan agar diameter yang diinginkan memiliki keseragaman.
5. Peralatan Pelengkap Reaktor
Reaktor *down flow* SSF membutuhkan beberapa peralatan pelengkap seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 yang merupakan sketsa reaktor *down flow* SSF. Peralatan tersebut berupa pipa ½", ember, *valve*, keran, selang air, dan pompa. Pipa ½" digunakan untuk menyalurkan air dari penampungan air ke tandon dan ke filter (*inlet*). Selang air digunakan sebagai *overflow* dari tandon dan sebagai *outlet*. *Valve* untuk mengatur debit air yang akan dialirkan ke filter sesuai dengan kecepatan filtrasi sebesar 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².jam. Sedangkan keran untuk mengeluarkan air hasil olahan filter. Karena filter ini bekerja 24 jam, maka diperlukan pompa. Terdapat empat buah pompa yang digunakan dalam penelitian ini dengan masing-masing satu reaktor untuk satu pompa.

6. Persiapan Aklimatisasi Media

Media filter dan geotekstil dalam reaktor harus diaklimatisasi terlebih dahulu sebelum penelitian dijalankan. Hal ini bertujuan agar pada pasir dan geotekstil tumbuh lapisan *biofilm* atau lapisan *schmutzdecke* yang dapat menurunkan zat pencemar dalam air baku. Aklimatisasi dilakukan setelah reaktor selesai dibangun dengan cara mengoperasikan reaktor selama kurang lebih 2 minggu dengan dialiri air baku secara terus menerus. Di bawah ini adalah sketsa dua reaktor SSF dengan variasi jarak lampu berbeda.



Gambar 3.2 Sketsa Reaktor *Slow Sand Filter* dengan Jarak Lampu LED 20 cm



Gambar 3.3 Sketsa Reaktor *Slow Sand Filter* dengan Jarak Lampu LED 40 cm

7. Media Geotekstil

Pada penelitian ini media geotekstil yang digunakan termasuk jenis *non-woven* yang merupakan geotekstil yang terbuat dari yang bukan anyaman. Geotekstil nantinya akan dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 10,16 cm menyesuaikan diameter reaktor yang akan digunakan dan memiliki tebal 0,4 cm sehingga membutuhkan 15 lembar geotekstil yang ditumpuk agar memiliki ketebalan 6 cm.

8. Air baku

Air baku yang akan digunakan adalah air baku yang berasal dari air sumur. Air yang digunakan berasal dari air sumur di depan Kantor Urusan Agama (KUA) Mulyorejo, Surabaya. Air baku nantinya akan diambil setiap hari sesuai keperluan dan ditampung di tempat penampungan air sebelum akhirnya dialirkan menuju *slow sand filter*. Adapun debit dari masing-masing air baku disesuaikan dengan kecepatannya.

3.3.5 Pelaksanaan Penelitian

Setelah proses aklimatisasi selesai, air untuk aklimatisasi diganti dengan air baru. Kemudian dilakukan pengaturan debit pada masing-masing filter. Penelitian ini dilaksanakan secara terus menerus selama 24 jam. Pengambilan sampel air dilakukan setiap hari selama lima hari untuk setiap kecepatan filtrasi dan diambil pada bagian *inlet* dan *outlet*. Pada bagian *inlet* hanya diambil satu kali saja setiap harinya sedangkan untuk *outlet* diambil di setiap reaktor. Itu artinya ada lima titik sampling yang diambil pada SSF. Sampling dilakukan pada jam yang sama setiap harinya dengan tujuan agar data yang diperoleh sama. Analisis air hasil olahan juga dilakukan setiap hari selama 5 hari dan pengambilan sampel juga dilakukan sekali dalam satu hari, yaitu di siang hari saja.

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Media geotekstil dan pasir dicuci dengan air keran terlebih dahulu sebelum dilakukan proses aklimatisasi menggunakan air baku yang berasal dari sumber air baku, yaitu air sumur. Aklimatisasi dilakukan dengan mengalirkan air baku ke reaktor yang telah dibangun. Proses aklimatisasi media ini berlangsung selama 2 minggu dengan perkiraan media sudah ditumbuhi oleh *biofilm*.

2. Setelah proses aklimatisasi media selesai, air baku diganti dengan air baru. Lalu proses pengoperasian SSF dapat dilakukan. Media geotekstil yang digunakan tiap lapisan memiliki ketebalan 0,4 cm sehingga dibutuhkan 15 lapis media geotekstil untuk mencapai 6 cm. Desain reaktor pertama, yaitu 6 cm media geotekstil, 100 cm media pasir, 15 cm media penyangga, 5 cm untuk *underdrain*, 14 cm *supernatant*, dan 20 cm untuk jarak lampu dengan air permukaan. Untuk reaktor kedua sama dengan desain reaktor pertama hanya berbeda di jarak lampu ke air permukaan, yaitu 40 cm. Sedangkan untuk reaktor tanpa lampu LED atau reaktor kontrol desainnya, yakni 6 cm media geotekstil, 100 cm media pasir, 15 cm media penyangga, 5 cm untuk *underdrain*, 4 cm *supernatant*, dan 20 cm untuk *freeboard*.
3. Pengoperasian dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam kemudian 5 hari selanjutnya dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam, dan 5 hari berikutnya dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam. Pengoperasian dilakukan dengan aliran *down flow*. Pada tahap ini dioperasikan semua reaktor baik yang menggunakan sinar matahari maupun reaktor yang menggunakan lampu LED. Reaktor akan bekerja secara terus menerus selama 24 jam.
4. Total titik sampling yang akan dianalisis pada penelitian ini sebanyak 5 titik sampling, dimana satu titik sampling akan diambil pada bagian *inlet* dan diambil 1 titik sampling pada *outlet* masing-masing reaktor. Pengambilan sampel dilakukan setiap harinya pada siang hari dan dalam satu hari hanya dilakukan sekali sampling.

Setelah melakukan sampling, selanjutnya sampel air dianalisis sesuai dengan parameter penelitian kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik yang terkandung di dalam air baku.

3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah mendapatkan hasil analisis laboratorium. Kemudian data yang sudah dianalisis, dibahas secara singkat, jelas, dan berbobot serta didukung dengan teori yang ada. Data yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah hasil analisis laboratorium mengenai kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik pada *inlet* dan *outlet* sehingga dapat diketahui berapa efisiensi penurunan dari *slow sand filter* untuk masing-masing parameter.

3.3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan hasil penelitian didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang didukung oleh teori yang ada. Pada kesimpulan ditujukan untuk menjawab tujuan penelitian. Sedangkan saran diperoleh dari hasil dari kesimpulan dan berfungsi sebagai bahan pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Awal

Pada penelitian ini digunakan air baku dari air sumur di depan Kantor Urusan Agama (KUA) Mulyorejo, Surabaya. Sumur ini terletak di sebelah sungai dan dalam kondisi terbuka bagian atasnya. Gambar sumur dapat dilihat pada Lampiran B. Pada air baku ini dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui tingkat kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) yang terkandung di air baku. Hasil dari penelitian pendahuluan ini adalah air baku memiliki tingkat kekeruhan sebesar 8,43 NTU, total *coliform* sebesar 16000 MPN *Index* /100 mL, dan zat organik (KMnO_4) sebesar 29,072 mg/L.

Inti dari penelitian ini adalah kinerja unit *slow sand filter* dengan menggunakan lampu LED warna putih sebesar 3 watt dalam mengolah air baku dan dibandingkan menurut jarak antara lampu dan air permukaan. Adapun penelitian pendahuluan untuk mengukur intensitas cahaya lampu LED putih yang digunakan adalah sebesar 221 lux dalam luas ruang 0,0081 m² untuk reaktor dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 40 cm dan 590 lux dalam luas ruang yang sama namun untuk reaktor dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 20 cm. Hal ini dikarenakan semakin dekat jarak lampu maka intensitas semakin tinggi dan suhu semakin panas. Sedangkan untuk reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan memiliki nilai intensitas cahaya matahari 107 lux dan untuk reaktor kontrol di luar ruangan memiliki nilai intensitas cahaya matahari 8000 lux. Dokumentasi pengukuran intensitas cahaya dapat dilihat pada Lampiran B.

Hasil air yang telah diolah filter ini dibandingkan dengan standar baku mutu yang ada di PERMENKES No.492 /Menkes/Per/IV/2010. Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan tingkat kekeruhan 8,43 NTU yang artinya melebihi standar baku mutu pada Lampiran di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/ IV/ 2010, yaitu maksimal 5 NTU. Namun hal ini artinya reaktor *slow sand filter* akan tetap dapat berjalan

dengan baik dan tidak cepat terjadi *clogging* sehingga periode pengurusan lebih lama. Karena menurut Schulz & Okun (1984; dalam Adlin, 2012) kekeruhan di atas 50 NTU, dapat berpengaruh terhadap kinerja *slow sand filter* yang menjadi lebih cepat mengalami *clogging* sehingga tidak bisa bekerja secara optimal. Untuk parameter zat organik (KMnO_4) 29,072 mg/L juga melebihi standar baku mutu dalam PERMENKES No. 492/ Menkes/Per/IV/2010, yaitu maksimal 10 mg/L. Hasil penelitian pendahuluan parameter total *coliform* sebesar 16000 / 100 mL melebihi standar yang ada, yaitu 0 / 100 mL sampel sesuai dengan Lampiran yang ada di PERMENKES no.492/Menkes/Per/IV/2010. Hal ini dikarenakan sampel yang digunakan adalah air sumur sehingga perlu dilakukan pengenceran dengan NaCl agar dapat diketahui jumlah bakteri sesuai MPN Index.

4.2 Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan sebelum pengoperasian dengan variasi kecepatan yang pertama dimulai untuk membentuk lapisan biofilm di media filter serta membuat media filter beradaptasi dengan air baku. Aklimatisasi dioperasikan dengan kecepatan 0,3 m³/m².jam selama 2 minggu. Adapun data analisis tingkat kekeruhan saat aklimatisasi setelah seminggu dan pada akhir minggu kedua di Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Efisiensi *Removal* Kekeruhan saat Aklimatisasi

Aklimatisasi	Minggu ke-1		Minggu ke-2	
	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
Inlet	5.48	-	6.53	-
Outlet Kontrol Luar	1.18	78.47	0.87	86.68
Outlet Kontrol Dalam	0.78	85.77	0.78	88.06

Aklimatisasi	Minggu ke-1		Minggu ke-2	
Sampel	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
Outlet Jarak Lampu 20 cm	1.25	77.19	1.12	82.85
Outlet Jarak Lampu 40 cm	1.38	74.82	1.6	75.50

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada data di atas dapat dilihat bahwa efisiensi *removal* untuk parameter kekeruhan pada keempat reaktor telah naik dan dapat terlihat adanya lapisan kecoklatan yang muncul di atas geotekstil yang artinya *schmutzdecke* telah mulai terbentuk. Tingkat kekeruhan saat aklimatisasi pada reaktor dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 40 cm menunjukkan peningkatan walaupun hanya sedikit yang artinya *schmutzdecke* bekerja semakin baik dari akhir minggu ke-1 sampai akhir minggu ke-2. Hal ini juga terjadi pada ketiga reaktor lainnya. Dapat dilihat pada reaktor kontrol yang diletakkan di dalam ruangan dari minggu ke-1 hingga minggu ke-2 tidak mengalami penurunan tingkat kekeruhan. Namun dikarenakan nilai *inlet* yang berbeda dan pada minggu ke-2 nilai *inlet* lebih tinggi daripada minggu ke-1 maka efisiensi penurunan tingkat kekeruhan semakin naik. Pada reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan di minggu ke-2 memiliki nilai kekeruhan yang lebih tinggi daripada minggu ke-1 namun dikarenakan nilai *inlet* pada minggu ke-2 juga lebih tinggi dibandingkan minggu ke-1 maka efisiensi penurunan nilai kekeruhan juga tetap meningkat walaupun hanya sedikit. Berikutnya hasil analisis zat organik (KMnO₄) yang ada di Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO₄) saat Aklimatisasi

Aklimatisasi	Minggu ke-1		Minggu ke-2	
Sampel	Nilai PV (mg/L)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)	Nilai PV (mg/L)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
Inlet	42.19	-	24.02	-
Outlet Kontrol Luar	34.76	17.60	17.70	26.32
Outlet Kontrol Dalam	24.81	41.20	12.26	48.95
Outlet Jarak Lampu 20 cm	23.38	44.57	10.74	55.26
Outlet Jarak Lampu 40 cm	18.33	56.55	8.47	64.74

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada data di atas dapat dilihat bahwa efisiensi *removal* untuk parameter zat organik (KMnO₄) di minggu pertama ke minggu kedua menaik dan lapisan kecoklatan sudah mulai muncul pada tiap reaktor yang artinya filter bekerja semakin baik dan *schmutzdecke* juga sudah mulai tumbuh. Reaktor yang memiliki nilai efisiensi penurunan yang paling tinggi adalah yang menggunakan lampu LED putih dengan jarak 40 cm dari air permukaan sedangkan reaktor yang memiliki nilai efisiensi penurunan paling rendah adalah reaktor kontrol yang diletakkan di luar ruangan. Selain itu, dapat dilihat juga bahwa nilai zat organik (KMnO₄) semakin menurun dari minggu ke-1 hingga minggu ke-2. Hal ini juga terjadi pada *inlet* sehingga nilai kandungan zat organik yang keluar pada *outlet* tiap reaktor juga semakin kecil. Selanjutnya di bawah ini adalah hasil analisis total *coliform* yang ada di Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Efisiensi *Removal* Total *Coliform* saat Aklimatisasi

Aklimatisasi	Minggu ke-1		Minggu ke-2	
Sampel	Total <i>Coliform</i> (/100 mL sampel)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)	Total <i>Coliform</i> (/100 mL sampel)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
Inlet	13000	-	7000	-
Outlet Kontrol Luar	8000	38.46	2900	58.57
Outlet Kontrol Dalam	5400	58.46	2100	70.00
Outlet Jarak Lampu 20 cm	2200	83.08	1100	84.29
Outlet Jarak Lampu 40 cm	1200	90.77	320	95.43

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada data di atas dapat dilihat bahwa efisiensi *removal* untuk parameter total *coliform* pada akhir minggu pertama sampai akhir minggu kedua semakin naik sama seperti parameter lain sebelumnya. Hal ini terjadi pada keempat reaktor. Pada tiap reaktor terlihat adanya lapisan berwarna kecoklatan di bagian atas geotekstil yang artinya *schmutzdecke* pada reaktor ini telah mulai terbentuk. Pada Tabel 4.3 di atas juga dapat dilihat bahwa nilai total *coliform* dari minggu ke-1 hingga minggu ke-2 semakin kecil yang terjadi pada seluruh reaktor sama seperti penurunan nilai zat organik. Berdasarkan hasil aklimatisasi di atas, diperkirakan sudah cukup masa aklimatisasi. Hal ini dapat disimpulkan demikian dikarenakan selain data di atas, dilakukan pula penelitian bakteri pada lapisan coklat yang mulai muncul pada tiap reaktor. Bakteri ini diambil agar dapat menunjukkan bahwa *schmutzdecke* telah tumbuh atau belum tumbuh. Penelitian bakteri ini dilakukan dengan metode TPC (*Total Plate Count*). Sampel diambil di

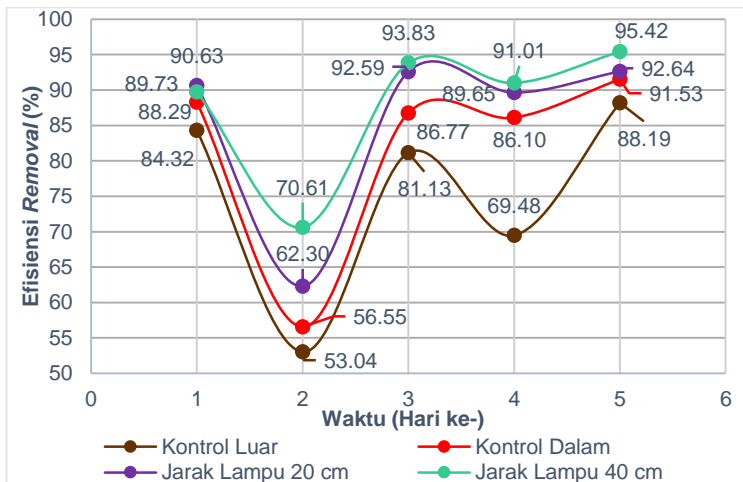
setiap reaktor bagian atas geotekstil karena *schmutzdecke* yang tumbuh ada di bagian tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya koloni bakteri di setiap reaktor walaupun pada beberapa reaktor ada yang masih sedikit bakterinya. Dokumentasi hasil penelitian dan hasil penelitian bakteri setiap reaktor ada di Lampiran C. Sedangkan prosedur penelitian TPC ada di Lampiran A. Selanjutnya dapat dilakukan pengoperasian dengan variasi kecepatan filtrasi yang pertama.

4.3 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Pertama

Sebelum dilakukan pengoperasian ini, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya ada proses aklimatisasi yang dijalankan selama 14 hari dengan tujuan menumbuhkan lapisan *schmutzdecke* yang menjadi faktor utama dalam proses filtrasi yang terjadi di unit SSF. Pada proses aklimatisasi, kecepatan yang digunakan adalah $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ agar media filter dapat beradaptasi dengan baik dan dapat dilanjutkan ke pengoperasian variasi kecepatan filtrasi pertama dimana proses filtrasi dijalankan dengan kecepatan filtrasi sebesar $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$. Setelah 14 hari, media geotekstil yang ada di atas media pasir berwarna kecoklatan. Hal ini dapat dilihat pada Lampiran B. Media pasir yang digunakan pada tiap reaktor setebal 100 cm karena menurut Huisman dan Wood (1974; dalam Adlin 2012) kriteria desain ketebalan media pada unit *slow sand filter* adalah 0,6 m – 1,2 m. Ketebalan media pasir yang diambil sebesar 100 cm karena penelitian ini hanya skala laboratorium dan diameter pasir ini adalah 0,15 mm – 0,35 mm. Media kerikil yang digunakan sebagai media penyangga memiliki dua diameter yang berbeda, yaitu 3 – 4 mm dengan ketebalan 5 cm dan 10 – 30 mm dengan ketebalan 10 cm (SNI 03-3981-1995). Ada 4 reaktor yang digunakan, yaitu reaktor dengan lampu LED putih yang berjarak 20 cm dari air permukaan, lalu reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan, reaktor tanpa lampu LED putih yang diletakkan di dalam ruangan sebagai reaktor kontrol pertama, dan yang terakhir reaktor tanpa lampu LED putih yang diletakkan di luar ruangan sebagai reaktor kontrol kedua.

4.3.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan

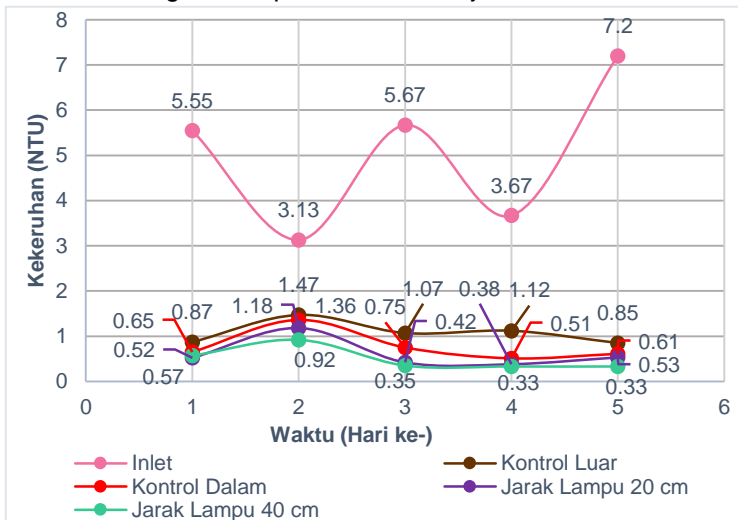
Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dan diamati efisiensi penurunan tingkat kekeruhan dari hasil *effluent* tiap reaktor dan pada *inlet* sebagai perbandingan untuk mendapatkan efisiensi *removal*. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Prosedur penelitian untuk mengetahui nilai kekeruhan pada *inlet* dan *outlet* setiap reaktor ada di Lampiran A. Adapun hasil efisiensi pengurangan tingkat kekeruhan dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Pada gambar di atas dapat dilihat di hari kedua dan keempat efisiensi *removal* nilai kekeruhan pada seluruh reaktor menurun dikarenakan *schmutzdecke* yang telah tumbuh di media filter belum dapat bekerja dengan stabil walaupun setelah dilakukan aklimatisasi selama 14 hari. Hal ini juga terjadi dikarenakan nilai pada *inlet* di hari kedua dan

keempat yang lebih kecil dibandingkan nilai *inlet* pada hari lainnya. Sehingga efisiensi pada hari kedua dan keempat jauh lebih rendah dibandingkan hari lainnya walaupun nilai kekeruhan antara hari pertama dan kedua serta hari ketiga dan keempat tidak berbeda terlalu jauh. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang bertugas melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air minum. Selama air melewati *schmutzdecke*, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna bakteri, fungi, protozoa. Proses yang terjadi dalam *schmutzdecke* sangat kompleks dan bervariasi, tetapi yang utama adalah *mechanical straining* terhadap kebanyakan bahan tersuspensi dalam lapisan tipis yang berpori-pori sangat kecil, kurang dari satu micron. Ketebalan lapisan ini meningkat terhadap waktu hingga mencapai 25 mm, yang menyebabkan aliran akan semakin mengecil (Huisman, 1974; dalam Mustafa dkk, 2013). Di bawah ini adalah Gambar 4.2 berupa grafik perbandingan tingkat kekeruhan tiap reaktor dengan kecepatan 0,3 m³/m².jam.



Gambar 4.2 Perbandingan Tingkat Kekeruhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Gambar 4.2 di atas menunjukkan kondisi *inlet* yang berfluktuatif dari hari ke-1 sampai hari ke-5 terutama di hari ke-5. Tingginya rendahnya tingkat kekeruhan di *inlet* yang fluktuatif setiap harinya sangat mempengaruhi hasil *outlet* dari keempat reaktor. Pengambilan sampel pada *inlet* diambil setiap hari dikarenakan sumber air tanah memiliki kandungan yang berbeda setiap harinya. Kandungan air tanah yang berbeda karena adanya air rembesan yang berbeda setiap harinya, lalu terkadang ada juga tambahan air hujan yang turut tercampur pada air tanah. Pada hari ke-5, nilai kekeruhan pada *inlet* yang besar menghasilkan efisiensi penurunan nilai kekeruhan yang semakin besar dikarenakan dari hari pertama hingga kelima reaktor dapat mengurangi kekeruhan semakin baik. Lalu pada hari ketiga dan keempat dan pada reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan serta reaktor dengan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm ke air permukaan memiliki nilai yang semakin kecil. Namun dikarenakan nilai *inlet* pada hari ke-4 lebih kecil dibandingkan hari ke-3 menghasilkan nilai efisiensi penurunan yang semakin menurun.

Pada hari kedua nilai kekeruhan tiap reaktor masih naik dibandingkan hari pertama. Dan karena nilai *inlet* pada hari kedua juga kecil menyebabkan nilai efisiensi penurunan juga semakin kecil. Hal ini dikarenakan *schmutzdecke* yang mulai terbentuk belum dapat bekerja dengan stabil. Selain itu juga dapat disebabkan oleh bakteri yang terbentuk pada *schmutzdecke* belum dalam kondisi yang matang dikarenakan kurangnya waktu aklimatisasi sehingga belum dapat bekerja dengan baik. Nilai tertinggi tingkat kekeruhan di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-5 dengan nilai 7,2 NTU dan nilai terendah terjadi di hari ke-5, yaitu 0,33 NTU. Nilai kekeruhan pada *outlet* di seluruh reaktor telah ada di bawah nilai kekeruhan yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES no.492/Menkes/Per /IV/2010 yang adalah 5 NTU. Di bawah ini adalah Tabel 4.4 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan

reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.4 Perbandingan Efisiensi *Removal* Tingkat Kekeruhan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	88.29	90.63	2.34	89.73	1.44
2	56.55	62.30	5.75	70.61	14.06
3	86.77	92.59	5.82	93.83	7.05
4	86.10	89.65	3.54	91.01	4.90
5	91.53	92.64	1.11	95.42	3.89
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			3.71		6.27

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.4 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

- Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm
 = Efisiensi *Removal* Jarak Lampu 20 cm – Efisiensi *Removal* Kontrol Dalam
 = 90.63% - 88.29%

= 2.34%

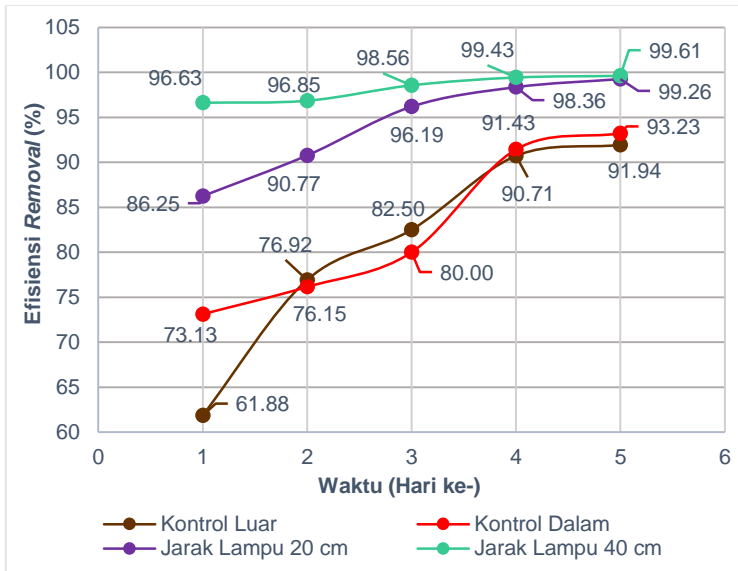
- Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm
 - = Efisiensi *Removal* Jarak Lampu 40 cm – Efisiensi *Removal* Kontrol Dalam
 - = 89.73% - 88.29%
 - = 1.44%

Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 6,27% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 3,71% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan kekeruhan dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan tingkat kekeruhan pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.3.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total *Coliform*

Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan total *coliform* dari hasil *effluent* tiap reaktor dan *inlet* sebagai perbandingan untuk menentukan efisiensi *removal*. Pada titik *inlet* dilakukan analisis setiap hari dikarenakan adanya kemungkinan faktor lingkungan yang berubah-ubah dan tidak menentu. Selanjutnya sampel akan dianalisis total *coliformnya*. Analisis dilakukan dengan metode MPN (*Most Probable Number*). Prosedur penelitian dapat dilihat pada Lampiran A. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Adapun hasil efisiensi *removal* total *coliform* dengan

kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Efisiensi *Removal* Total *Coliform* dengan Kecepatan Filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Pada Gambar 4.3 di atas dapat dilihat bahwa grafik efisiensi *removal* total *coliform* pada hari pertama hingga hari ke-5 pada seluruh reaktor mengalami peningkatan pada efisiensi penurunan total *coliform*. Peningkatan pada hari ke-1 hingga ke-4 pada seluruh reaktor kecuali reaktor dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 40 cm tersebut menunjukkan *schmutzdecke* telah tumbuh dengan maksimal namun belum stabil dikarenakan masih mengalami peningkatan yang terlalu tinggi. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu ke air permukaan sebesar 40 cm telah mengalami peningkatan yang lebih stabil dibandingkan reaktor lainnya. Hal ini dikarenakan *schmutzdecke* yang tumbuh setelah aklimatisasi selama 2 minggu di reaktor ini masih sudah bekerja dengan baik dan lebih stabil. Pada hari

ke-4 hingga ke-5 menunjukkan peningkatan yang lebih stabil pada seluruh reaktor. Itu artinya *schmutzdecke* yang terbentuk sudah mulai bekerja dengan stabil dalam menurunkan total *coliform*. Penyisihan bertahap pada parameter ini terjadi juga dikarenakan proses pertumbuhan bakteri *coliform* pada unit *slow sand filter* yang mencapai tahap optimal. Menurut Trihadiningrum (1995; dalam Amalia, 2014), mikroorganismenya memiliki 4 fase pertumbuhan termasuk juga bakteri *coliform*. Fase 1 adalah fase pertumbuhan populasi, lalu fase 2 adalah saat proses pembelahan sel, selanjutnya fase 3 adalah fase pertumbuhan konstan, dan yang terakhir fase 4 adalah fase kematian. Penyisihan bakteri *coliform* yang paling baik akan terjadi ketika memasuki fase 4 karena pada fase tersebut menunjukkan kondisi berkurangnya nutrisi makanan mikroorganismenya yang disebabkan oleh jumlah populasi yang tinggi. Sehingga penyisihan total *coliform* dapat berlangsung dengan baik.



Gambar 4.4 Perbandingan Total *Coliform* tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$

Pada Gambar 4.4 di atas menunjukkan kondisi *inlet* yang berfluktuatif dari hari ke-1 sampai hari ke-5. Namun tetap dapat mengurangi total *coliform* dengan semakin baik. Dapat dilihat juga pada Gambar di atas hari kedua hingga hari ke-3 pada reaktor kontrol yang terletak di dalam ruangan mengalami peningkatan nilai total *coliform*. Namun dikarenakan nilai *inlet* pada hari ke-3 lebih tinggi dibandingkan hari kedua menghasilkan efisiensi penurunan total *coliform* yang meningkat. Sedangkan pada reaktor lainnya dari hari ke-1 hingga ke-5 telah mengalami penurunan nilai total *coliform*. Nilai tertinggi total *coliform* di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-5 dengan nilai 3100 MPN *Index*/100 mL dan nilai terendah terjadi di hari ke-2, yaitu 1300 MPN *Index*/ 100 mL. Nilai total *coliform* yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air permukaan pada hari ke-5 yang berupa 12 MPN *Index*/100 mL. Nilai tersebut masih di atas nilai maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 0/100 mL. Di bawah ini adalah Tabel 4.5 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.5 Perbandingan Efisiensi *Removal* Total *Coliform* pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	73.13	86.25	13.13	96.63	23.50
2	76.15	90.77	14.62	96.85	20.69

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
3	80.00	96.19	16.19	98.56	18.56
4	91.43	98.36	6.93	99.43	8.00
5	93.23	99.26	6.03	99.61	6.39
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			11.38		15.43

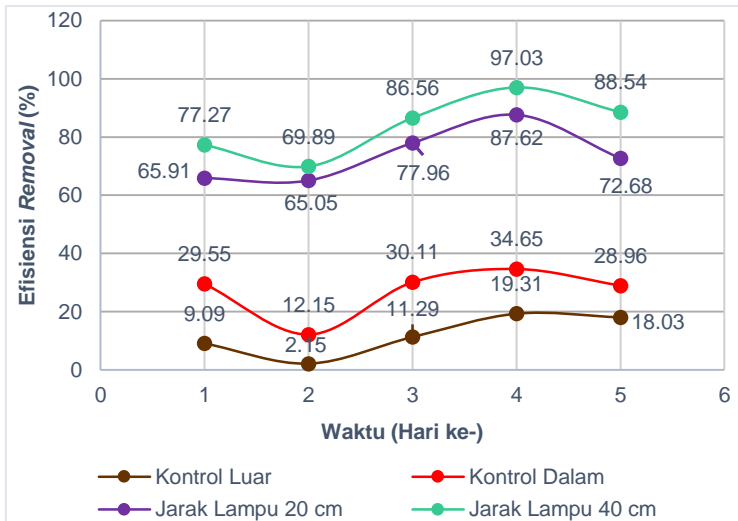
Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.5 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 15,43% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 11,38% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan total *coliform* dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.5

dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan total *coliform* pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.3.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO₄)

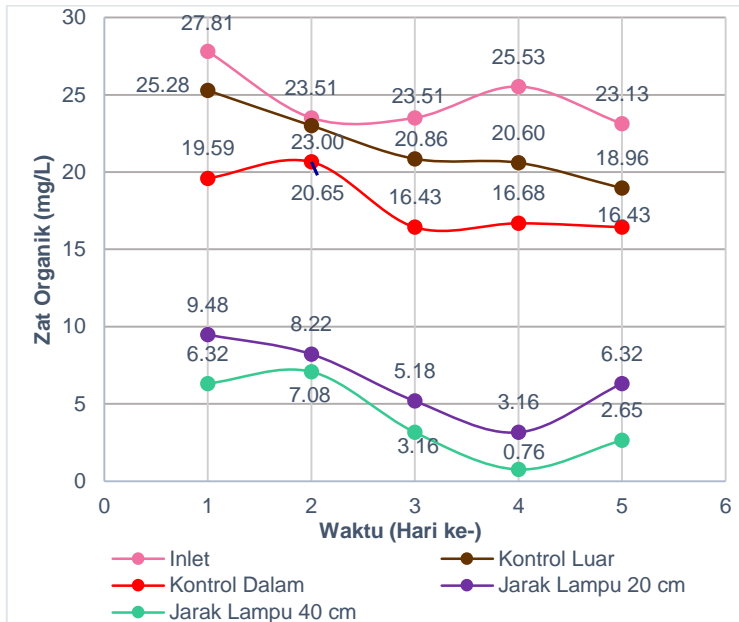
Proses pengoperasian berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan zat organik (KMnO₄) dari hasil *effluent* tiap reaktor dan dari *inlet* juga sebagai penentuan efisiensi *removal*. Sampel akan dianalisis zat organiknya (KMnO₄) dengan metode *Permanganate Value* (PV). Proses analisis dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Prosedur penelitian dapat dilihat pada Lampiran A. Adapun hasil efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO₄) dengan Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Hasil grafik efisiensi *removal* zat organik (KMnO_4) sangat fluktuatif. Dapat dilihat pada hari ke-2 dan ke-5 mengalami penurunan nilai efisiensi *removal*. Hal ini dikarenakan lapisan *schmutzdecke* masih beradaptasi setelah masa aklimatisasi sehingga hasilnya masih belum stabil. Selain itu juga disebabkan nilai *inlet* yang semakin kecil pada hari ke-2, ke-3, dan ke-5 dibandingkan hari pertama dan hari ke-4 sehingga efisiensi zat organik (KMnO_4) yang dapat diturunkan juga semakin kecil. Pada hari ke-2 hingga hari ke-4 grafik efisiensi penurunan zat organik semakin naik pada seluruh reaktor dikarenakan nilai inlet yang kecil hingga semakin besar. Pengambilan sampel pada *inlet* diambil setiap hari dikarenakan sumber air tanah memiliki kandungan yang berbeda setiap harinya. Kandungan air tanah yang berbeda karena adanya air rembesan yang berbeda setiap harinya, lalu terkadang ada juga tambahan air hujan yang turut tercampur pada air tanah.

Lapisan *schmutzdecke* pada *slow sand filter* merupakan lapisan yang kaya akan mikroorganisme. Mikroorganisme ini memerlukan makanan untuk keberlangsungan hidupnya. Makanan mikroorganisme ini salah satunya adalah zat organik yang terkandung dalam air baku. Zat organik tersebut akan dimakan oleh mikroorganisme dan diubah menjadi zat anorganik (misal: air, karbondioksida, nitrat, fosfat, dan garam), kemudian zat anorganik ini akan keluar melalui butiran media filter menuju *outlet* filter. Pada awal proses filtrasi, rongga antar butiran media yang masih kosong mulai terisi setiap harinya karena partikulat yang berukuran lebih besar daripada butiran pasir akan tertahan di media. Semakin lama proses filtrasi maka akan semakin banyak partikulat yang tertahan, hingga adanya kehidupan mikroorganisme di dalam lapisan *schmutzdecke* ini. Mikroorganisme inilah yang berperan dalam penurunan efisiensi air baku dengan memakan zat-zat pencemar yang terdapat di dalamnya (Huisman dan Wood, 1974; dalam Adlin, 2012). Di bawah ini adalah Gambar 4.6 yang berupa grafik perbandingan zat organik (KMnO_4) tiap reaktor dengan kecepatan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.



Gambar 4.6 Perbandingan Zat Organik (KMnO_4) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Pada Gambar 4.6 di atas dapat dilihat pada hari ke-4 hingga ke-5 reaktor kontrol luar dan dalam mengalami penurunan nilai zat organik. Namun dikarenakan nilai *inlet* yang juga lebih kecil pada hari ke-5 dibandingkan hari ke-4 menyebabkan efisiensi *removal* yang menurun juga. Pada reaktor kontrol luar terlihat pada hari ke-1 hingga hari ke-5 memiliki nilai zat organik (KMnO_4) yang semakin menurun namun pada reaktor lainnya masih naik atau turun sehingga tidak stabil. Nilai tertinggi zat organik (KMnO_4) di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-1 dengan nilai 27,81 mg/L dan nilai terendah terjadi di hari ke-5, yaitu 23,13 mg/L. Nilai zat organik (KMnO_4) yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air permukaan pada hari ke-4 yang berupa 0,76 mg/L. Nilai tersebut sudah di bawah nilai

maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 10 mg/L. Di bawah ini adalah Tabel 4.6 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.6 Perbandingan Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO₄) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,3 m³/m².jam

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	29.55	65.91	36.36	77.27	47.73
2	12.15	65.05	52.90	69.89	57.74
3	30.11	77.96	47.85	86.56	56.45
4	34.65	87.62	52.97	97.03	62.38
5	28.96	72.68	43.72	88.54	59.58
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			46.76		56.78

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.6 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan

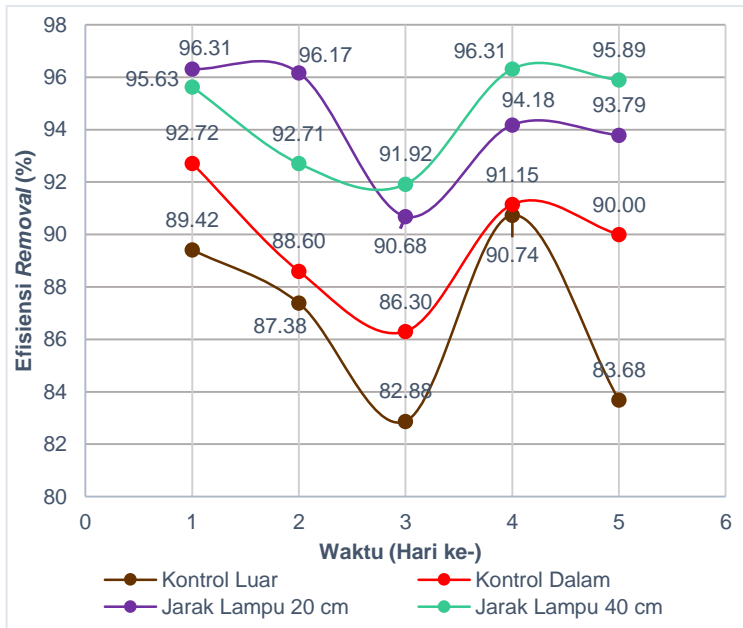
mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 56,78% dalam menurunkan zat organik (KMnO_4) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 46,76% dalam menurunkan zat organik (KMnO_4) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan zat organik (KMnO_4) dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan zat organik (KMnO_4) pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.4 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Kedua

Pada pengoperasian ini dilakukan proses filtrasi dengan variasi kecepatan filtrasi kedua, yaitu $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$. Variasi kecepatan filtrasi yang dilakukan dimulai dari yang paling cepat ke yang lebih lambat agar lapisan lumpur *schmutzdecke* yang mulai terbentuk tidak tergerus dan turut larut keluar sampai *outlet*. Bila penelitian dimulai dari kecepatan filtrasi yang paling cepat, maka lapisan *schmutzdecke* yang telah terbentuk tidak akan tergerus karena kecepatan filtrasi selanjutnya lebih lambat yang artinya air yang masuk ke reaktor juga lebih lambat dibandingkan sebelumnya. Ada 4 reaktor yang digunakan, yaitu reaktor dengan lampu LED putih yang berjarak 20 cm dari air permukaan, reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan, reaktor kontrol tanpa lampu LED putih yang diletakkan di luar ruangan, dan yang terakhir reaktor kontrol tanpa lampu LED putih yang diletakkan di dalam ruangan.

4.4.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan

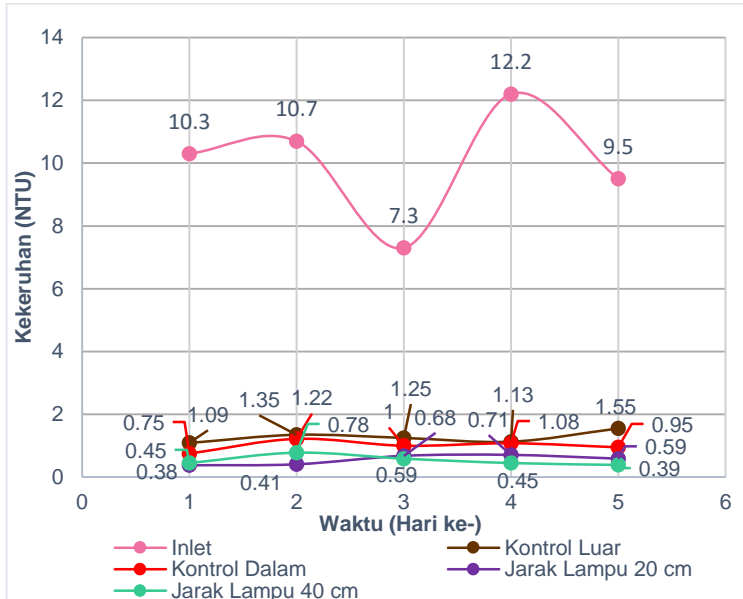
Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dan diamati efisiensi penurunan tingkat kekeruhan dari hasil *effluent* tiap reaktor dan pada *inlet* sebagai perbandingan untuk mendapatkan efisiensi *removal*. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Prosedur penelitian untuk mendapatkan nilai kekeruhan ada di Lampiran A. metode yang digunakan adalah dengan menggunakan alat turbidimetri. Adapun hasil efisiensi pengurangan tingkat kekeruhan dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam

Pada grafik di atas dapat dilihat pada hari pertama sampai hari ke-3 grafik efisiensi penurunan tingkat kekeruhan pada seluruh reaktor semakin menurun, lalu meningkat pada hari ke-4 dan menurun lagi pada hari ke-5. Penurunan yang terjadi pada hari pertama hingga hari ke-3 dikarenakan nilai *inlet* yang fluktuatif dan *schmutzdecke* yang terbentuk perlu penyesuaian lagi dengan kecepatan yang baru sehingga masih menurun. Peningkatan efisiensi *removal* tingkat kekeruhan pada hari ke-4 dikarenakan nilai *inlet* yang besar pada hari tersebut sehingga *schmutzdecke* yang terbentuk dapat menurunkan nilai kekeruhan yang semakin besar. Penurunan efisiensi *removal* pada hari ke-5 dikarenakan nilai *inlet* yang juga semakin kecil dibandingkan hari ke-4 sehingga nilai efisiensi *removal* juga semakin kecil. Pengambilan sampel pada *inlet* diambil setiap hari dikarenakan sumber air tanah memiliki kandungan yang berbeda setiap harinya. Kandungan air tanah yang berbeda karena adanya air rembesan yang berbeda setiap harinya, lalu terkadang ada juga tambahan air hujan yang turut tercampur pada air tanah.

Selain nilai *inlet* yang fluktuatif dan lapisan *schmutzdecke* yang dapat mengurangi kekeruhan, pada unit *slow sand filter* ini kekeruhan juga dapat disisihkan dengan proses fisik yang terjadi, yaitu proses *mechanical straining* dan proses sedimentasi. Pada proses *mechanical straining* bahan pencemar dan partikel-partikel penyebab kekeruhan tersisihkan dan tersaring pada rongga antar butiran media pasir yang ukurannya lebih kecil daripada ukuran partikel pencemar. Sedangkan proses sedimentasi terjadi apabila partikel pencemar yang lolos pada proses *mechanical straining* akan mengendap pada permukaan butiran media pasir yang ukurannya lebih kecil daripada partikel bahan pencemar dan partikel penyebab kekeruhan sehingga terjadilah penyisihan kekeruhan pada air baku yang melewati filter (Huisman, 1974; dalam Mustafa dkk, 2013). Di bawah ini adalah Gambar 4.8 yang merupakan grafik perbandingan nilai tingkat kekeruhan pada tiap reaktor dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.



Gambar 4.8 Perbandingan Tingkat Kekeuhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$

Gambar 4.8 di atas menunjukkan kondisi *inlet* yang berfluktuatif dari hari ke-1 sampai hari ke-5 terutama di hari ke-4. Hal ini dikarenakan pada hari ke-4 turun hujan sehingga air baku tercampur dengan air hujan dan menyebabkan air baku semakin keruh. Tingginya rendahnya tingkat kekeruhan di *inlet* yang fluktuatif setiap harinya sangat mempengaruhi hasil *outlet* dari keempat reaktor. Pada gambar di atas juga dapat dilihat pada hari ke-2 hingga hari ke-5 untuk reaktor dengan lampu LED berjarak 40 cm dari air permukaan memiliki nilai kekeruhan yang semakin menurun yang artinya *schmutzdecke* pada reaktor ini telah terbentuk dengan sempurna. Sedangkan untuk reaktor lainnya masih fluktuatif karena dipengaruhi oleh nilai *inlet* yang fluktuatif juga. Nilai tertinggi tingkat kekeruhan di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-4 dengan nilai 12,2 NTU dan nilai terendah

terjadi di hari ke-3, yaitu 7,3 NTU. Nilai *inlet* yang tertinggi masih di atas standar baku mutu yang ada di PERMENKES no.492/Menkes/Per/IV/2010. Namun setelah diolah di filter SSF, tidak ada yang di atas 5 NTU. Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.7 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.7 Perbandingan Efisiensi *Removal* Tingkat Kekeruhan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	92.72	96.31	3.59	95.63	2.91
2	88.60	96.17	7.57	92.71	4.11
3	86.30	90.68	4.38	91.92	5.62
4	91.15	94.18	3.03	96.31	5.16
5	90.00	93.79	3.79	95.89	5.89
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			4.47		4.74

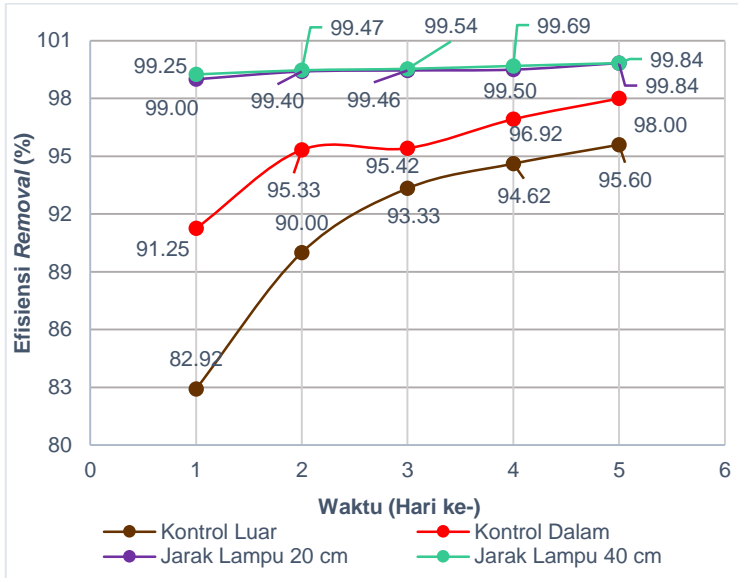
Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.7 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi

lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 4,74% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 4,47% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan kekeruhan dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan tingkat kekeruhan pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.4.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total *Coliform*

Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan total *coliform* dari hasil *effluent* tiap reaktor dan *inlet* sebagai perbandingan untuk menentukan efisiensi *removal*. Selanjutnya sampel akan dianalisis total *coliform*nya dengan metode MPN. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Dikarenakan air *inlet* berupa air sumur maka perlu adanya pengenceran dengan menggunakan NaCl agar hasilnya jelas. Sedangkan pada sampel yang diambil di *outlet* tiap reaktor tidak perlu adanya pengenceran kecuali bila hasilnya tidak jelas, maka perlu adanya pengenceran. Adapun hasil efisiensi *removal* total *coliform* dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.

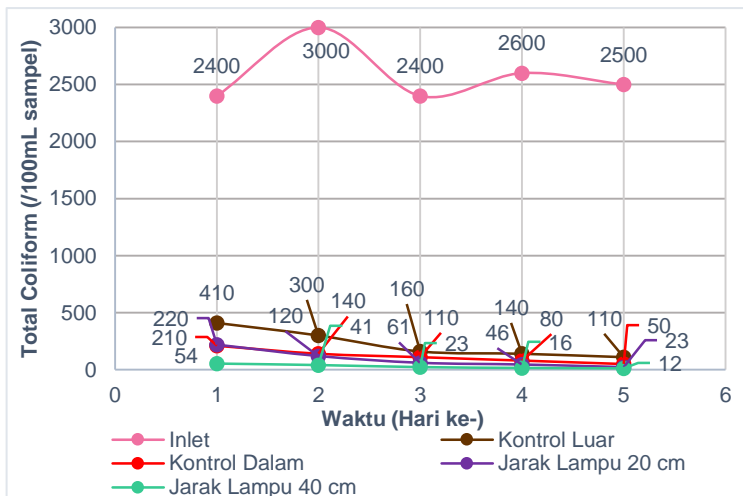


Gambar 4.9 Efisiensi *Removal* Total *Coliform* dengan Kecepatan Filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Gambar 4.9 di atas menunjukkan nilai efisiensi *removal* yang semakin meningkat dari hari pertama hingga hari ke-5 pada reaktor yang menggunakan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm dari air permukaan. Peningkatan efisiensi *removal* ini terjadi dengan stabil yang dikarenakan pengoperasian filter dengan kecepatan $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ berlangsung setelah pengoperasian filter dengan kecepatan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ selesai. Sehingga lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk telah sempurna. Untuk reaktor kontrol yang ada di luar ruangan maupun di dalam ruangan dapat dilihat bahwa mulai stabil pada hari ke-3 hingga hari ke-5. Hal ini dikarenakan lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk pada kedua reaktor ini masih mulai beradaptasi saat filter baru mulai dioperasikan dengan kecepatan baru. Peningkatan efisiensi *removal* total *coliform* yang konstan terjadi dikarenakan perkembangan lapisan *biofilm* yang terus terjadi pada media filter. Menurut Langmark dkk (2004; dalam

Amalia, 2014), kematangan *biofilm* dapat menunjang peningkatan daya saring bakteri oleh unit *slow sand filter*. Waktu kontak media dengan air baku yang semakin lama akan menyebabkan proses pematangan *biofilm* yang semakin meningkat.

Proses penyisihan yang maksimal ini terjadi karena bakteri *coliform* tertahan pada permukaan media unit *slow sand filter* yang disebut lapisan *schmutzdecke* dimana lapisan ini tumbuh dan bekerja secara baik dan efektif (Tyagi dkk, 2009; dalam Amalia, 2014). Pada lapisan tersebut terdapat mikroorganismenya yang tumbuh dan berkembang serta membutuhkan makanan dalam menunjang kehidupannya. Air baku yang digunakan mengandung zat organik yang akan menempel pada lapisan ini dan zat organik tersebut akan dimakan oleh mikroorganismenya di lapisan *schmutzdecke* dan mengubahnya menjadi zat anorganik (Huisman dan Wood, 1974; dalam Amalia, 2014) Selanjutnya di bawah ini adalah Gambar 4.10 yang berupa grafik perbandingan total *coliform* tiap reaktor dengan kecepatan 0,2 m³/m².jam.



Gambar 4.10 Perbandingan Total *Coliform* tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam

Pada Gambar 4.10 di atas dapat dilihat nilai total *coliform* tiap reaktor dari hari pertama hingga hari ke-5 semakin menurun yang artinya lapisan *schmutzdecke* telah terbentuk dengan sempurna dan dapat bekerja dengan stabil. Gambar di atas juga menunjukkan nilai total *coliform* yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 20 cm dan 40 cm ke air permukaan yang berupa 4 MPN *Index*/100 mL. Namun nilai tersebut masih di atas nilai maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 0/100 mL. Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.8 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.8 Perbandingan Efisiensi *Removal* Total *Coliform* pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam

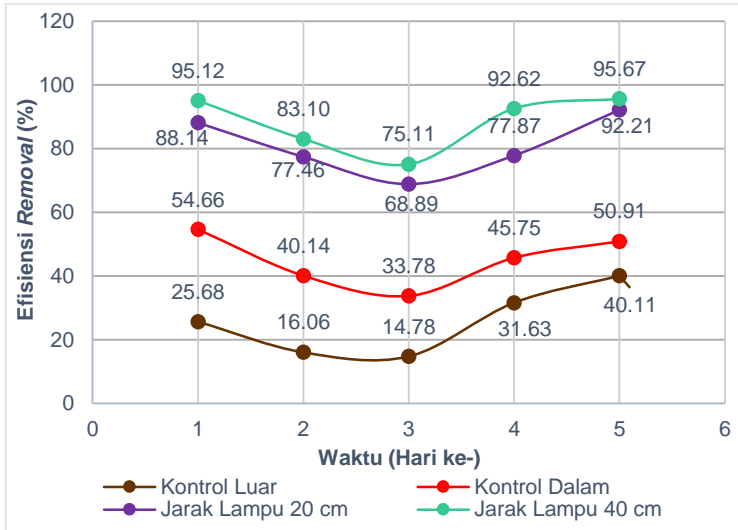
Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	91.25	99.00	7.75	99.25	8.00
2	95.33	99.40	4.07	99.47	4.13
3	95.42	99.46	4.04	99.54	4.13
4	96.92	99.50	2.58	99.69	2.77
5	98.00	99.84	1.84	99.84	1.84
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			4.06		4.17

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.8 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 4,17% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 4,06% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan total *coliform* dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan total *coliform* pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.4.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,2 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO₄)

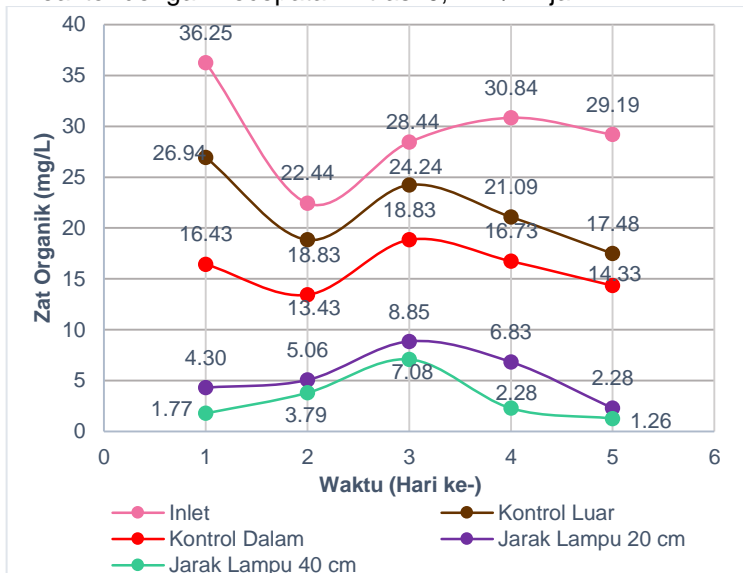
Proses pengoperasian berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan zat organik (KMnO₄) dari hasil *effluent* tiap reaktor dan dari *inlet* juga sebagai penentuan efisiensi *removal*. Selanjutnya sampel akan dianalisis zat organiknya (KMnO₄) dengan metode *Permanganate Value* (PV). Adapun hasil efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) dengan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Efisiensi *Removal* Zat Organik ($KMnO_4$) dengan Kecepatan Filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$

Pada Gambar 4.11 di atas menunjukkan hasil grafik efisiensi *removal* zat organik ($KMnO_4$) yang semakin menurun pada hari pertama hingga ke-3 namun setelah itu semakin meningkat hingga hari ke-5. Hasil ini walaupun belum stabil tapi masih lebih baik dibandingkan dengan saat pengoperasian dengan variasi kecepatan filtrasi pertama. Hal ini dikarenakan pada hari pertama hingga hari ke-3 mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* masih menyesuaikan dengan kecepatan filtrasi yang baru sedangkan pada hari ketiga hingga ke-5 dikarenakan mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* telah beradaptasi dengan kecepatan yang baru menghasilkan nilai efisiensi *removal* zat organik ($KMnO_4$) yang meningkat. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai *inlet* pada hari kedua dan ketiga yang lebih kecil dibandingkan nilai *inlet* pada hari lainnya. Selain itu, adanya kenaikan dan penurunan efisiensi *removal* ini bergantung pada kondisi mikroorganisme di dalam lapisan *schmutzdecke*.

Saat efisiensi *removal* meningkat hal tersebut dikarenakan mikroorganismenya sedang dalam masa pertumbuhan yang sangat memerlukan makanan dan makanan yang berasal dari air baku mencukupi. Maka mikroorganismenya tersebut akan bekerja secara optimal dengan memakan zat pencemar. Sebaliknya jika efisiensi *removal* menurun, maka mikroorganismenya sedang dalam kondisi kenyang. Hal ini dikarenakan mikroorganismenya tersebut sudah terlalu banyak mengonsumsi makanan yang berasal dari air baku sehingga pada saat terdapat makanan lainnya dalam air baku, mikroorganismenya tersebut hanya memakan sedikit atau bahkan tidak makan sama sekali (Adlin, 2012). Dan juga dapat dikarenakan proses filtrasi membutuhkan penyesuaian pada kecepatan filtrasi yang baru. Selanjutnya di bawah ini Gambar 4.12 yang merupakan grafik perbandingan kandungan zat organik (KMnO_4) tiap reaktor dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.



Gambar 4.12 Perbandingan Kandungan Zat Organik (KMnO_4) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Gambar 4.12 menunjukkan kondisi *inlet* yang berfluktuatif dari hari ke-1 sampai hari ke-5 terutama di hari ke-1 dimana nilai zat organik (KMnO_4) *inlet* sangat tinggi yang sangat mempengaruhi nilai *outlet* juga. Dapat dilihat juga nilai zat organik (KMnO_4) pada reaktor dengan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm pada hari pertama hingga hari ke-3 semakin tinggi dan pada hari ketiga hingga ke-5 semakin rendah. Sedangkan untuk reaktor kontrol masih fluktuatif. Nilai tertinggi zat organik (KMnO_4) di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-1 dengan nilai 36,25 mg/L dan nilai terendah terjadi di hari ke-2, yaitu 22,44 mg/L. Nilai zat organik (KMnO_4) yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air permukaan pada hari ke-4 yang berupa 1,26 mg/L. Nilai tersebut sudah di bawah nilai maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 10 mg/L. Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.9 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.9 Perbandingan Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO_4) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	54.66	88.14	33.48	95.12	40.45
2	40.14	77.46	37.32	83.10	42.96

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
3	33.78	68.89	35.11	75.11	41.33
4	45.75	77.87	32.12	92.62	46.88
5	50.91	92.21	41.30	95.67	44.76
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			35.87		43.28

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.9 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 43,28% dalam menurunkan zat organik (KMnO₄) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 35,87% dalam menurunkan zat organik (KMnO₄) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi

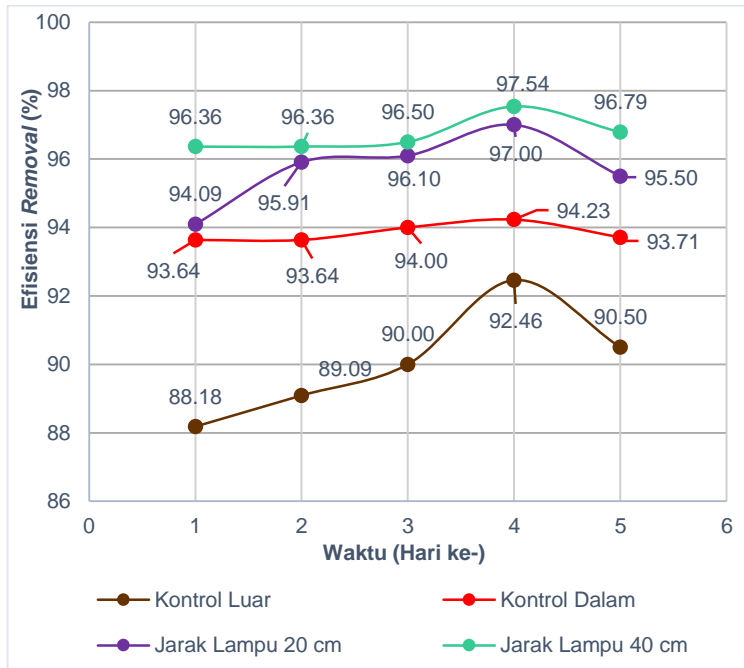
penurunan zat organik (KMnO_4) dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.9 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan zat organik (KMnO_4) pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.5 Pengoperasian dengan Variasi Kecepatan Filtrasi Ketiga

Pada pengoperasian ini dilakukan proses filtrasi dengan variasi kecepatan filtrasi ketiga, yaitu $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Variasi kecepatan filtrasi yang dilakukan dimulai dari yang paling cepat ke yang lebih lambat agar lapisan lumpur *schmutzdecke* yang mulai terbentuk tidak tergerus dan turut larut keluar sampai *outlet*. Bila penelitian dimulai dari kecepatan filtrasi yang paling cepat, maka lapisan *schmutzdecke* yang telah terbentuk tidak akan tergerus karena kecepatan filtrasi selanjutnya lebih lambat yang artinya air yang masuk ke reaktor juga lebih lambat dibandingkan sebelumnya. Ada 4 reaktor yang digunakan, yaitu reaktor dengan lampu LED putih yang berjarak 20 cm dari air permukaan, lalu reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan, reaktor tanpa lampu LED putih yang diletakkan di dalam ruangan sebagai reaktor kontrol pertama, dan yang terakhir reaktor tanpa lampu LED putih yang diletakkan di luar ruangan sebagai reaktor kontrol kedua.

4.5.1 Pengaruh Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penurunan Tingkat Kekeruhan

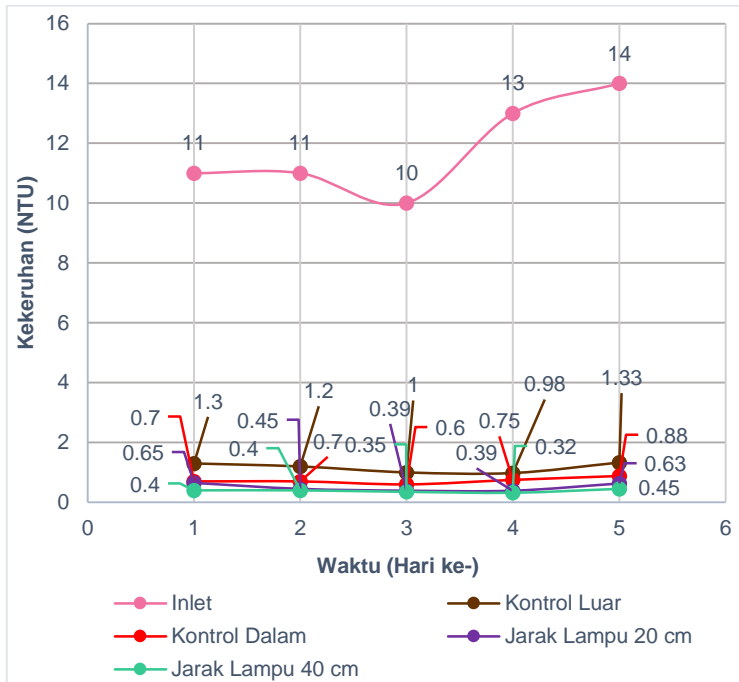
Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dan diamati efisiensi penurunan tingkat kekeruhan dari hasil *effluent* tiap reaktor dan pada *inlet* sebagai perbandingan untuk mendapatkan efisiensi *removal*. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Adapun hasil efisiensi pengurangan tingkat kekeruhan dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13 Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan dengan Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Pada Gambar 4.13 di atas dapat dilihat hari ke-1 hingga ke-3 nilai efisiensi *removal* telah stabil yang artinya *schmutzdecke* telah terbentuk dengan sempurna dan dapat bekerja dengan stabil. Proses *mechanical straining* dan sedimentasi yang terjadi pada unit *slow sand filter* juga telah dapat bekerja dengan baik. Pada hari ke-4 nilai efisiensi *removal* tingkat kekeruhan semakin naik yang menunjukkan keempat reaktor telah mencapai kondisi paling optimal. Pada hari ke-5 efisiensi *removal* tingkat kekeruhan menurun dikarenakan ada kemungkinan terjadinya *clogging*. *Clogging* terjadi dikarenakan filter yang digunakan tidak pernah dicuci atau dikuras sejak dioperasikan untuk aklimatisasi sehingga bakteri, zat organik, dan lain sebagainya semakin menumpuk di media filter dan mengakibatkan *clogging*. Di bawah ini

adalah Gambar 4.14 yang berupa grafik perbandingan tingkat kekeruhan tiap reaktor dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam.



Gambar 4.14 Perbandingan Tingkat Kekeruhan tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam

Pada Gambar 4.14 di atas menunjukkan nilai *inlet* yang semakin tinggi dibandingkan variasi kecepatan filtrasi sebelumnya. Gambar di atas juga menunjukkan pada hari pertama hingga ke-4 nilai kekeruhan semakin menurun atau tetap untuk reaktor kontrol yang diletakkan di luar ruangan serta reaktor dengan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm dari permukaan air. Namun pada hari ke-5 semakin meningkat nilai kekeruhannya. Pada reaktor kontrol yang diletakkan di dalam ruangan mengalami peningkatan nilai

kekeruhan pada hari ke-4 dan ke-5. Akan tetapi dikarenakan nilai *inlet* pada hari ke-4 lebih tinggi dibandingkan hari ke-3, nilai kekeruhan yang sedikit meningkat tidak menurunkan nilai efisiensi penurunan tingkat kekeruhan. Nilai tertinggi tingkat kekeruhan di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-5 dengan nilai 14 NTU dan nilai terendah terjadi di hari ke-3, yaitu 10 NTU. Nilai *inlet* yang tertinggi masih di atas standar baku mutu yang ada di PERMENKES no. 492/Menkes/Per/IV/2010. Namun setelah diolah di filter SSF, tidak ada yang di atas 5 NTU. Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.10 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.10 Perbandingan Efisiensi *Removal* Tingkat Kekeruhan pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam

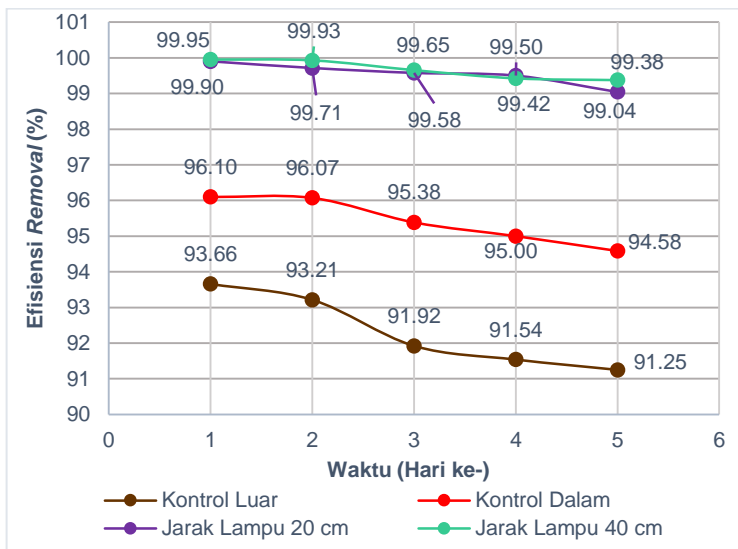
Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	93.64	94.09	0.45	96.36	2.73
2	93.64	95.91	2.27	96.36	2.73
3	94.00	96.10	2.10	96.50	2.50
4	94.23	97.00	2.77	97.54	3.31
5	93.71	95.50	1.79	96.79	3.07
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			1.88		2.87

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.10 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 2,87% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 1,88% dalam menurunkan tingkat kekeruhan dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan kekeruhan dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.10 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan tingkat kekeruhan pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.5.2 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Total *Coliform*

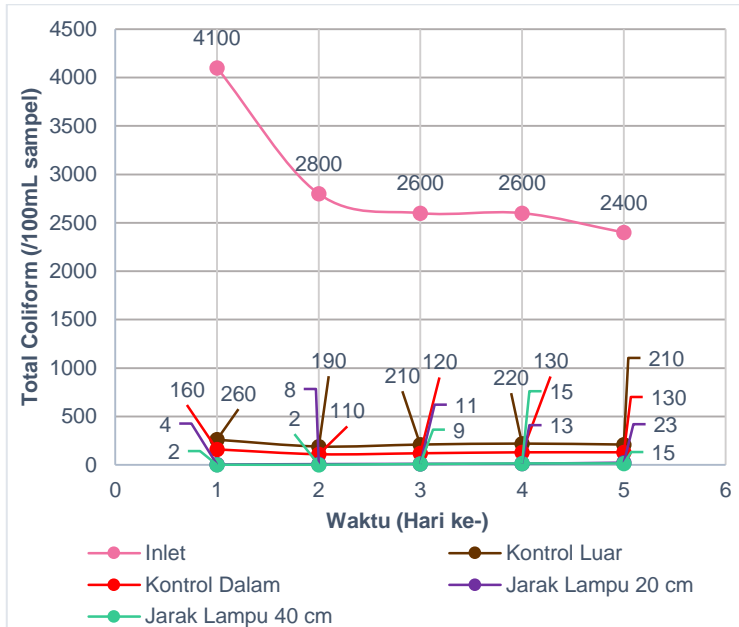
Pada proses pengoperasian unit SSF ini berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan total *coliform* dari hasil *effluent* tiap reaktor dan *inlet* sebagai perbandingan untuk menentukan efisiensi *removal*. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Adapun hasil efisiensi *removal* total *coliform* dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.15 di bawah ini.



Gambar 4.15 Efisiensi *Removal* Total *Coliform* dengan Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Pada Gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa grafik efisiensi *removal* total *coliform* pada seluruh reaktor masih stabil namun semakin menurun. Hal ini dikarenakan media filter pada reaktor yang tidak dicuci atau dikuras dari awal aklimatisasi sehingga terjadinya penumpukan partikel dalam media filter yang berlebihan dan memengaruhi kinerja filter. Selain itu juga dikarenakan kondisi mikroorganisme dalam filter yang sudah mulai kenyang sehingga saat total *coliform* pada air baku tinggi, mikroorganisme tersebut tidak mampu lagi untuk memakannya. Karena mikroorganisme tidak mampu untuk memakan bakterinya maka bakteri akan menumpuk dan menyebabkan terjadinya *clogging*. Penyebab lainnya adalah dikarenakan media filter yang mulai jenuh dalam mengabsorpsi zat pencemar baik zat organik maupun mikroorganisme patogen yang terkandung dalam air baku sehingga zat pencemar menjadi lolos bersama *effluent* dan membuat efisiensi *removal* menjadi menurun (Amalia, 2014). Grafik di atas juga menunjukkan nilai efisiensi *removal* yang

paling bagus dibandingkan variasi kecepatan filtrasi sebelumnya. Di bawah ini adalah Gambar 4.16 yang berupa grafik perbandingan total *coliform* tiap reaktor dengan kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.



Gambar 4.16 Perbandingan Total *Coliform* tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Pada Gambar 4.16 di atas dapat dilihat pada reaktor kontrol keduanya memiliki data yang fluktuatif namun efisiensi *removal* total *coliform* tetap menurun. Sedangkan untuk reaktor dengan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm memiliki data yang semakin menurun dari hari pertama hingga ke-5. Nilai tertinggi total *coliform* di *inlet* adalah pada pengambilan sampel hari ke-1 dengan nilai 4100 MPN *Index*/100 mL dan nilai terendah terjadi di hari ke-5, yaitu 2400 MPN *Index*/ 100 mL. Nilai total *coliform* yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air

permukaan yang berupa 2 MPN *Index*/100 mL. Namun nilai tersebut masih di atas nilai maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 0/100 mL. Hal yang menyebabkan unit *slow sand filter* dapat menurunkan total *coliform* adalah karena di dalam unit tersebut terdapat beberapa mikroorganisme yang memproduksi racun biologis atau kimia yang berbahaya bagi bakteri patogen (Huisman dan Wood, 1974; dalam Adlin, 2012). Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.11 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.11 Perbandingan Efisiensi *Removal* Total *Coliform* pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam

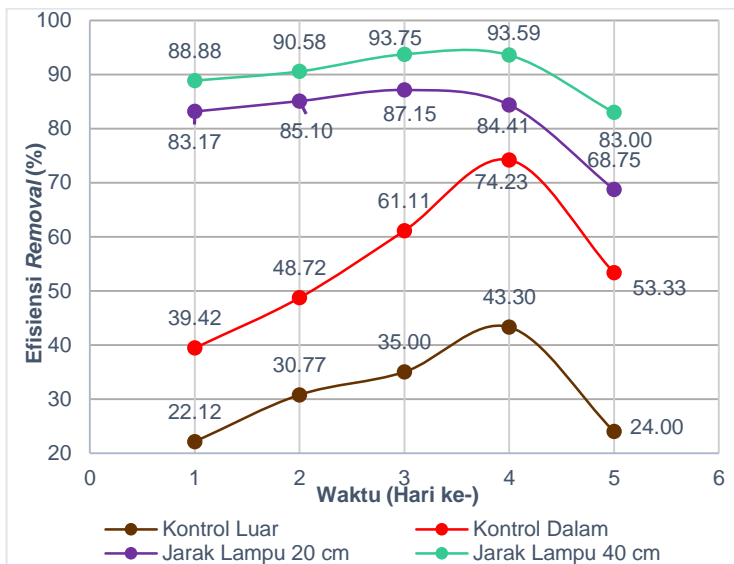
Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	96.10	99.90	3.80	99.95	3.85
2	96.07	99.71	3.64	99.93	3.86
3	95.38	99.58	4.19	99.65	4.27
4	95.00	99.50	4.50	99.42	4.42
5	94.58	99.04	4.46	99.38	4.79
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			4.12		4.24

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.11 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 5,58% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 5,46% dalam menurunkan total *coliform* dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan total *coliform* dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.11 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan total *coliform* pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.5.3 Pengaruh Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam terhadap Variasi Jarak Lampu LED Putih dalam Penyisihan Zat Organik (KMnO₄)

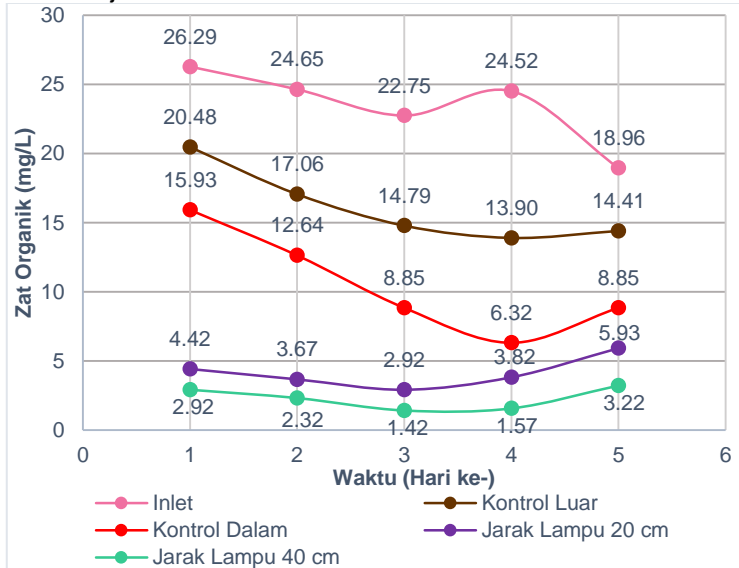
Proses pengoperasian berjalan dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam dan diamati efisiensi penyisihan zat organik (KMnO₄) dari hasil *effluent* tiap reaktor dan dari *inlet* juga sebagai penentuan efisiensi *removal*. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Adapun hasil efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) dengan kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam dapat dilihat pada Gambar 4.17 di bawah ini.



Gambar 4.17 Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO₄) dengan Kecepatan Filtrasi 0,1 m³/m².jam

Pada Gambar 4.17 di atas menunjukkan pada reaktor dengan lampu LED putih berjarak 20 cm dan 40 cm dari permukaan air di hari ke-4 dan ke-5 semakin menurun dikarenakan ada kemungkinan terjadinya *clogging* yang disebabkan tidak dilakukan pencucian media filter dari awal aklimatisasi. Hal ini juga terjadi pada kedua reaktor kontrol namun pada hari yang berbeda. Untuk kedua reaktor kontrol terjadi penurunan efisiensi *removal* pada hari ke-5. Namun hasil penurunan efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) pada variasi kecepatan filtrasi ini masih lebih bagus dibandingkan dengan hasil dari variasi kecepatan filtrasi sebelumnya. Efisiensi *removal* yang semakin menurun juga disebabkan mikroorganisme di dalam filter sedang dalam kondisi kenyang dan tidak mampu memakan zat organik lagi sehingga menyebabkan efisiensi penurunan zat organik dalam air baku lebih kecil (Adlin, 2012). Berikut ini adalah Gambar 4.18 yang adalah grafik perbandingan kandungan

zat organik (KMnO_4) tiap reaktor dengan kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.



Gambar 4.18 Perbandingan Kandungan Zat Organik (KMnO_4) tiap Reaktor dengan Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Gambar 4.18 menunjukkan kondisi *inlet* yang berfluktuatif dari hari ke-1 sampai hari ke-5 terutama di hari ke-1 dimana nilai zat organik (KMnO_4) *inlet* sangat tinggi yang sangat mempengaruhi nilai *outlet* juga. Pada gambar di atas juga dapat dilihat nilai *inlet* pada hari ke-5 sangat kecil sehingga nilai *outlet* tiap reaktor juga tidak dapat berkurang terlalu banyak. Pada hari ke-5 dapat dilihat untuk seluruh reaktor nilai zat organik semakin naik dibandingkan dengan hari sebelumnya. Pada hari ke-1 sampai hari ke-3 mengalami penurunan nilai zat organik dikarenakan lapisan *schmutzdecke* yang sudah terbentuk sempurna pada pengoperasian filter dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ disebabkan karena sudah terisinya rongga kosong antara butiran pasir sehingga mikroorganisme yang hidup berjumlah lebih banyak dan semakin banyak mikroorganisme yang

hidup maka semakin baik pula penurunan efisiensi zat organik dalam air baku (Huisman dan Wood, 1974; dalam Adlin, 2012). Nilai zat organik (KMnO_4) yang telah disisihkan hingga paling rendah ada di hasil *outlet* reaktor dengan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air permukaan pada hari ke-3 yang berupa 1,42 mg/L. Nilai tersebut sudah di bawah nilai maksimum yang diperbolehkan dalam standar baku mutu yang ada di PERMENKES No. 492/Menkes/Per/IV/2010 yang adalah 10 mg/L. Selanjutnya di bawah ini adalah Tabel 4.12 yang menunjukkan pengaruh kontribusi lampu LED putih pada tiap reaktor *slow sand filter* dibandingkan dengan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan berada di dalam ruangan.

Tabel 4.12 Perbandingan Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO_4) pada Reaktor dengan Lampu LED Putih dan Reaktor Kontrol Dalam tanpa Lampu LED Putih di Kecepatan Filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

Hari ke-	Efisiensi <i>Removal</i> Kontrol Dalam (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 20 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 20 cm (%)	Efisiensi <i>Removal</i> Jarak Lampu 40 cm (%)	Kontribusi Lampu LED dengan Jarak 40 cm (%)
1	39.42	83.17	43.75	88.88	49.46
2	48.72	85.10	36.38	90.58	41.86
3	61.11	87.15	26.04	93.75	32.64
4	74.23	84.41	10.18	93.59	19.36
5	53.33	68.75	15.42	83.00	29.67
Rata-rata Kontribusi Lampu LED pada Tiap Reaktor			26.35		34.60

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Pada Tabel 4.12 di atas nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 20 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 20 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Begitu juga dengan nilai kontribusi lampu LED dengan jarak 40 cm didapatkan dengan mengurangi efisiensi *removal* reaktor dengan jarak lampu 40 cm dari air permukaan dengan efisiensi *removal* reaktor kontrol yang ada di dalam ruangan. Dan perhitungan dilakukan sama seperti pada Tabel 4.4 sebelumnya. Selanjutnya dapat dilihat bahwa reaktor dengan jarak lampu LED 40 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 34,60% dalam menurunkan zat organik (KMnO_4) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Sedangkan pada reaktor dengan jarak lampu LED 20 cm dari air permukaan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi 26,35% dalam menurunkan zat organik (KMnO_4) dibandingkan reaktor kontrol yang tidak menggunakan lampu LED putih dan diletakkan di dalam ruangan. Pada nilai rata-rata efisiensi penurunan zat organik (KMnO_4) dengan kontribusi lampu LED putih pada Tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan zat organik (KMnO_4) pada filter dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm ke air permukaan lebih besar dibandingkan dengan yang berjarak 20 cm ke air permukaan.

4.6 Perbandingan Variabel Penelitian terhadap Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan, Total *Coliform*, dan Zat Organik

Penelitian ini memiliki dua macam variasi, yaitu jarak lampu ke air permukaan dan kecepatan filtrasi. Variasi yang dimaksud adalah jarak lampu ke air permukaan, yaitu 20 cm dan 40 cm serta kecepatan filtrasi yang sebesar 0,1 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, 0,2 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan 0,3 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. Selain kedua variasi tersebut adapula tambahan dua reaktor kontrol yang diletakkan di luar ruangan dan yang diletakkan di dalam ruangan. Dengan adanya reaktor kontrol maka dapat dibandingkan antara reaktor

yang menggunakan lampu LED dengan reaktor tanpa lampu ataupun sinar matahari dan dengan reaktor yang menggunakan sinar matahari. Hasil penelitian semua variasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15 yang dibedakan berdasarkan parameter yang diteliti dan juga didapatkan rata-rata efisiensi penurunan pada masing-masing parameter dari hari pertama hingga hari ke-5. Di bawah ini adalah Tabel 4.13 yang merupakan nilai efisiensi penurunan tingkat kekeruhan gabungan dari seluruh reaktor dengan menggunakan ketiga variasi kecepatan filtrasi.

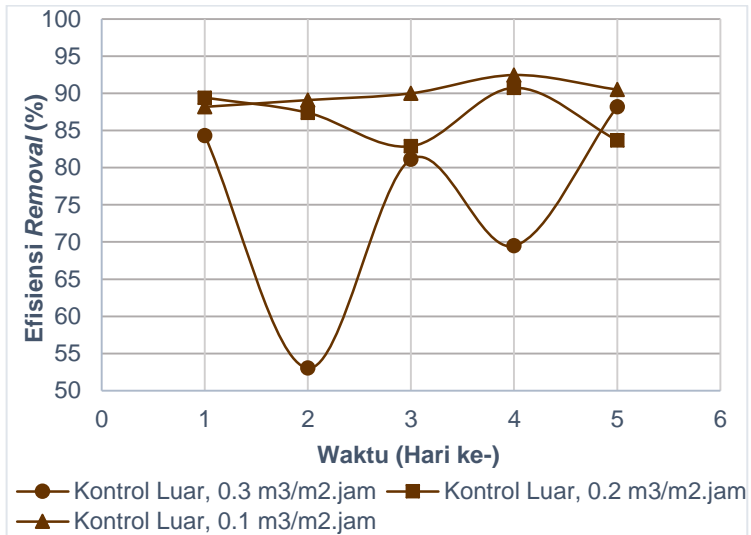
Tabel 4.13 Efisiensi Penurunan Tingkat Kekeruhan Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi

No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
1	Kontrol Luar, 0.3 m ³ /m ² .jam	84.32	53.04	81.13	69.48	88.19	75.23
2	Kontrol Dalam, 0.3 m ³ /m ² .jam	88.29	56.55	86.77	86.10	91.53	81.85
3	Jarak Lampu 20 cm, 0.3 m ³ /m ² .jam	90.63	62.30	92.59	89.65	92.64	85.56
4	Jarak Lampu 40 cm, 0.3 m ³ /m ² .jam	89.73	70.61	93.83	91.01	95.42	88.12
5	Kontrol Luar, 0.2 m ³ /m ² .jam	89.42	87.38	82.88	90.74	83.68	86.82
6	Kontrol Dalam, 0.2 m ³ /m ² .jam	92.72	88.60	86.30	91.15	90.00	89.75

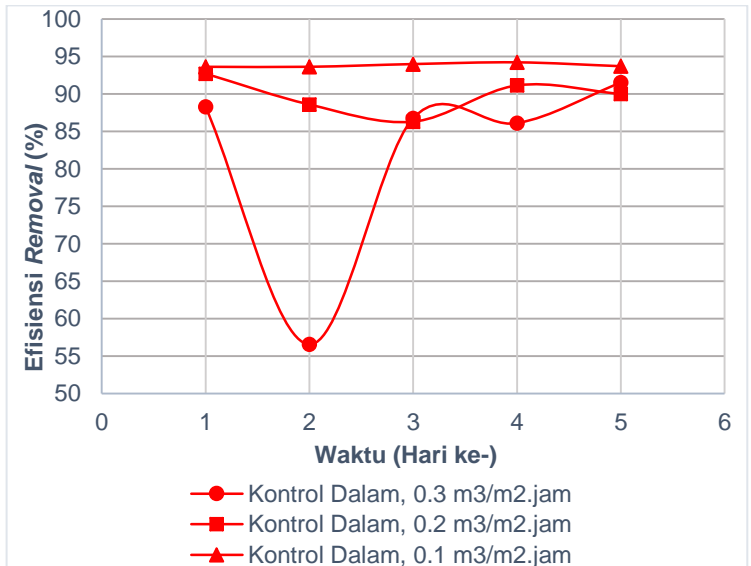
No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
7	Jarak Lampu 20 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	96.31	96.17	90.68	94.18	93.79	94.23
8	Jarak Lampu 40 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	95.63	92.71	91.92	96.31	95.89	94.49
9	Kontrol Luar, 0.1 m ³ /m ² .jam	88.18	89.09	90.00	92.46	90.50	90.05
10	Kontrol Dalam, 0.1 m ³ /m ² .jam	93.64	93.64	94.00	94.23	93.71	93.84
11	Jarak Lampu 20 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	94.09	95.91	96.10	97.00	95.50	95.72
12	Jarak Lampu 40 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	96.36	96.36	96.50	97.54	96.79	96.71

Sumber: Hasil Analisis, 2017

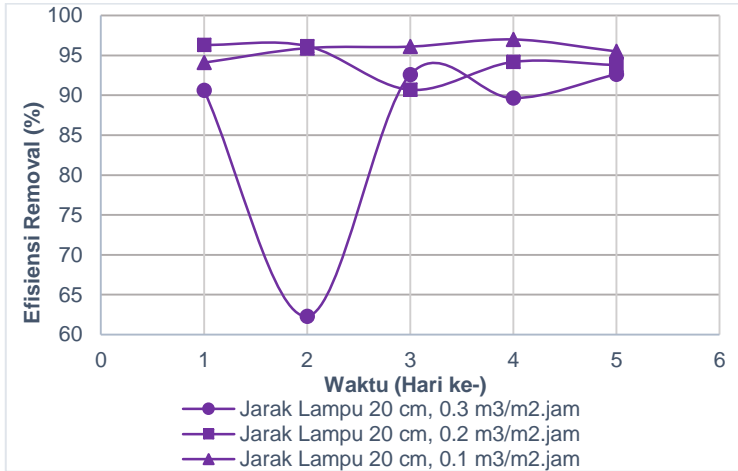
Tabel di atas menunjukkan nilai rata-rata efisiensi *removal* kekeruhan yang paling tinggi adalah reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm pada kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam sebesar 96,71% dan yang paling rendah adalah reaktor kontrol luar pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam sebesar 75,23%. Selanjutnya di bawah ini adalah Gambar 4.19 yang berupa grafik garis efisiensi *removal* tingkat kekeruhan dari Tabel 4.13 di atas yang dibedakan per-reaktor.



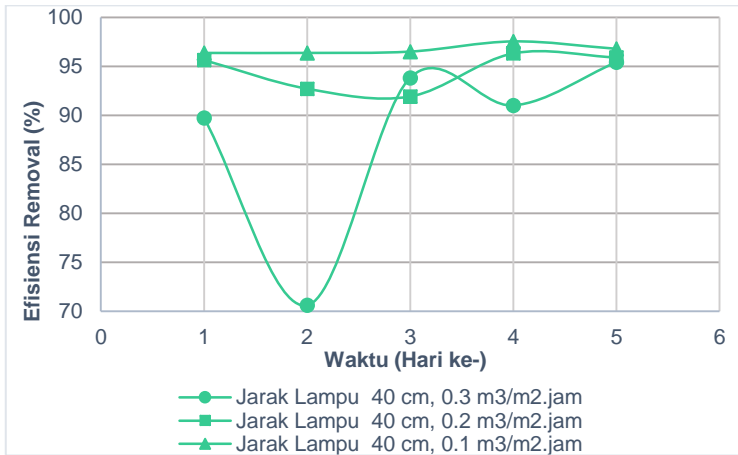
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.19 Efisiensi *Removal* Tingkat Kekeruhan Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi:

- a. Reaktor Kontrol Luar
- b. Reaktor Kontrol Dalam
- c. Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 20 cm
- d. Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 40 cm

Pada Gambar 4.19 di atas dapat dilihat garis yang berwarna sama merupakan perbandingan nilai efisiensi *removal* tiap variasi kecepatan filtrasi. Grafik tersebut juga menunjukkan urutan yang ada di paling atas adalah nilai efisiensi *removal* setiap reaktor yang kecepatan filtrasinya 0,1 m³/m².jam. Sedangkan garis yang diurutan paling bawah setiap reaktor adalah nilai efisiensi *removal* yang paling rendah dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam. Berikutnya adalah Tabel 4.14 yang merupakan nilai efisiensi penurunan total *coliform* gabungan dari seluruh reaktor dengan menggunakan ketiga variasi kecepatan filtrasi.

Tabel 4.14 Efisiensi Penurunan Total *Coliform* Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi

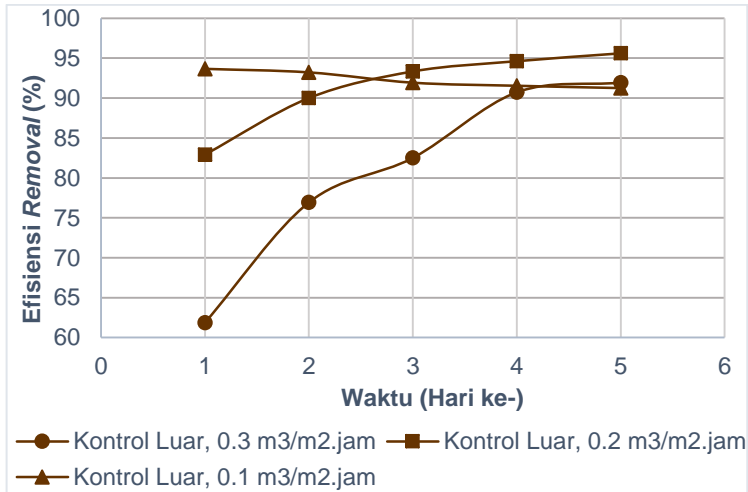
No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
1	Kontrol Luar, 0,3 m ³ /m ² .jam	61.88	76.92	82.50	90.71	91.94	80.79
2	Kontrol Dalam, 0,3 m ³ /m ² .jam	73.13	76.15	80.00	91.43	93.23	82.79
3	Jarak Lampu 20 cm, 0,3 m ³ /m ² .jam	86.25	90.77	96.19	98.36	99.26	94.16
4	Jarak Lampu 40 cm, 0,3 m ³ /m ² .jam	96.63	96.85	98.56	99.43	99.61	98.22
5	Kontrol Luar, 0,2 m ³ /m ² .jam	82.92	90.00	93.33	94.62	95.60	91.29

No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
6	Kontrol Dalam, 0.2 m ³ /m ² .jam	91.25	95.33	95.42	96.92	98.00	95.38
7	Jarak Lampu 20 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	99.00	99.40	99.46	99.50	99.84	99.44
8	Jarak Lampu 40 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	99.25	99.47	99.54	99.69	99.84	99.56
9	Kontrol Luar, 0.1 m ³ /m ² .jam	93.66	93.21	91.92	91.54	91.25	92.32
10	Kontrol Dalam, 0.1 m ³ /m ² .jam	96.10	96.07	95.38	95.00	94.58	95.43
11	Jarak Lampu 20 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	99.90	99.71	99.58	99.50	99.04	99.55
12	Jarak Lampu 40 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	99.95	99.93	99.65	99.42	99.38	99.67

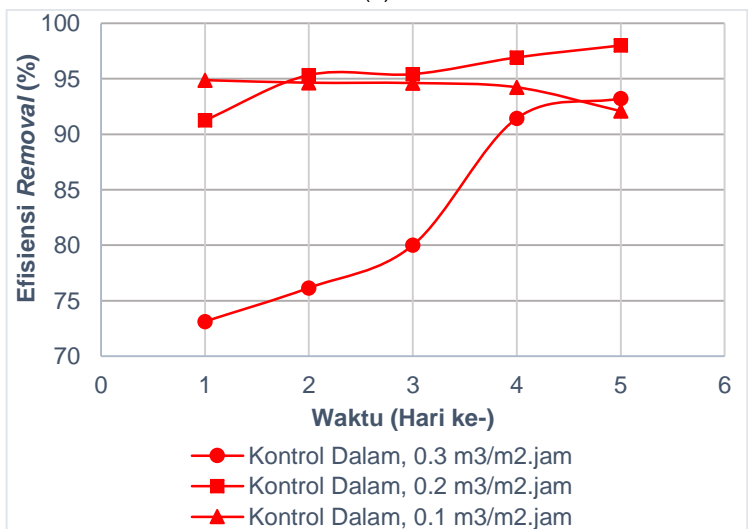
Sumber: Hasil Analisis, 2017

Tabel di atas menunjukkan nilai rata-rata efisiensi *removal* total *coliform* yang paling tinggi adalah reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm pada kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam sebesar 99,67% dan yang paling rendah adalah reaktor kontrol luar pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam sebesar 80,79%. Di

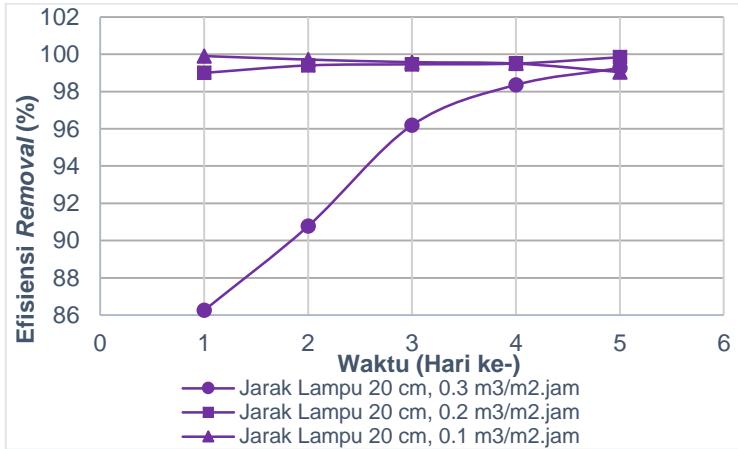
bawah ini adalah grafik garis efisiensi *removal* total *coliform* dari Tabel 4.14.



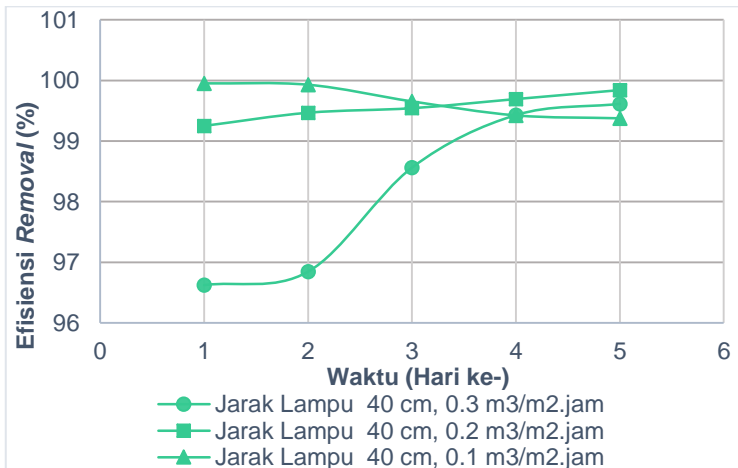
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.20 Efisiensi *Removal* Total *Coliform* Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi:

- Reaktor Kontrol Luar
- Reaktor Kontrol Dalam
- Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 20 cm
- Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 40 cm

Pada Gambar 4.20 di atas dapat dilihat pada garis yang berwarna sama merupakan perbandingan nilai efisiensi *removal* tiap variasi kecepatan filtrasi. Grafik tersebut juga menunjukkan urutan yang di paling atas adalah nilai efisiensi *removal* setiap reaktor yang kecepatan filtrasinya 0,1 m³/m².jam. Sedangkan garis yang diurutan paling bawah setiap reaktor adalah nilai efisiensi *removal* yang paling rendah dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam. Dan yang terakhir adalah Tabel 4.15 yang merupakan nilai efisiensi penurunan zat organik (KMnO₄) gabungan dari seluruh reaktor dengan menggunakan ketiga variasi kecepatan filtrasi.

Tabel 4.15 Efisiensi Penurunan Zat Organik (KMnO₄) Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi

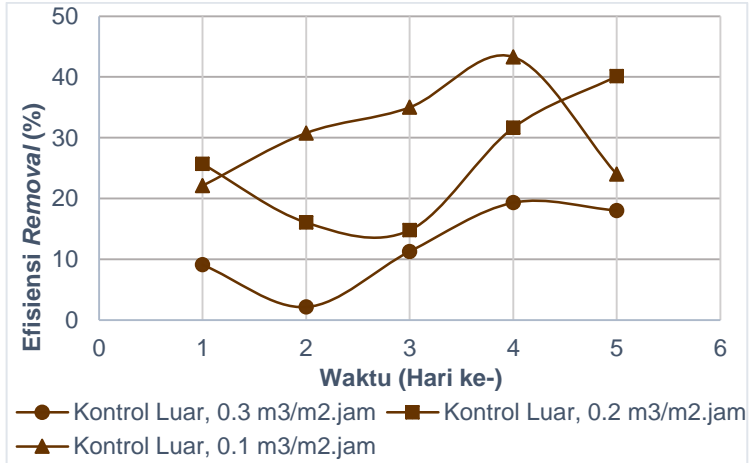
No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
1	Kontrol Luar, 0,3 m ³ /m ² .jam	9.09	2.15	11.29	19.31	18.03	11.97
2	Kontrol Dalam, 0,3 m ³ /m ² .jam	29.55	12.15	30.11	34.65	28.96	27.08
3	Jarak Lampu 20 cm, 0,3 m ³ /m ² .jam	65.91	65.05	77.96	87.62	72.68	73.84
4	Jarak Lampu 40 cm, 0,3 m ³ /m ² .jam	77.27	69.89	86.56	97.03	88.54	83.86
5	Kontrol Luar, 0,2 m ³ /m ² .jam	25.68	16.06	14.78	31.63	40.11	25.65

No.	Variasi Penelitian	Efisiensi Penurunan (%)					Rata-rata (%)
		Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	
6	Kontrol Dalam, 0.2 m ³ /m ² .jam	54.66	40.14	33.78	45.75	50.91	45.05
7	Jarak Lampu 20 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	88.14	77.46	68.89	77.87	92.21	80.91
8	Jarak Lampu 40 cm, 0.2 m ³ /m ² .jam	95.12	83.10	75.11	92.62	95.67	88.32
9	Kontrol Luar, 0.1 m ³ /m ² .jam	22.12	30.77	35.00	43.30	24.00	31.04
10	Kontrol Dalam, 0.1 m ³ /m ² .jam	39.42	48.72	61.11	74.23	53.33	55.36
11	Jarak Lampu 20 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	83.17	85.10	87.15	84.41	68.75	81.72
12	Jarak Lampu 40 cm, 0.1 m ³ /m ² .jam	88.88	90.58	93.75	93.59	83.00	89.96

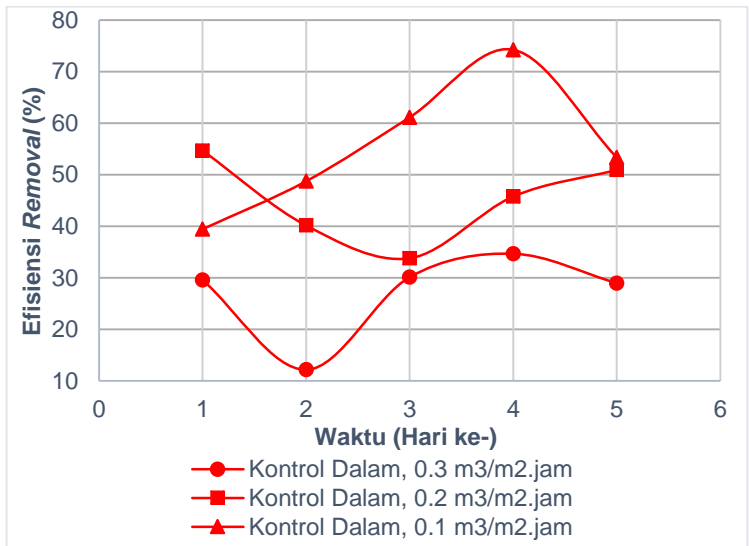
Sumber: Hasil Analisis, 2017

Tabel 4.15 di atas menunjukkan nilai rata-rata efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) yang paling tinggi adalah reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm pada kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam sebesar 89,96% dan yang paling rendah adalah reaktor kontrol luar pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam sebesar 11,97%. Di bawah ini adalah grafik garis dari nilai

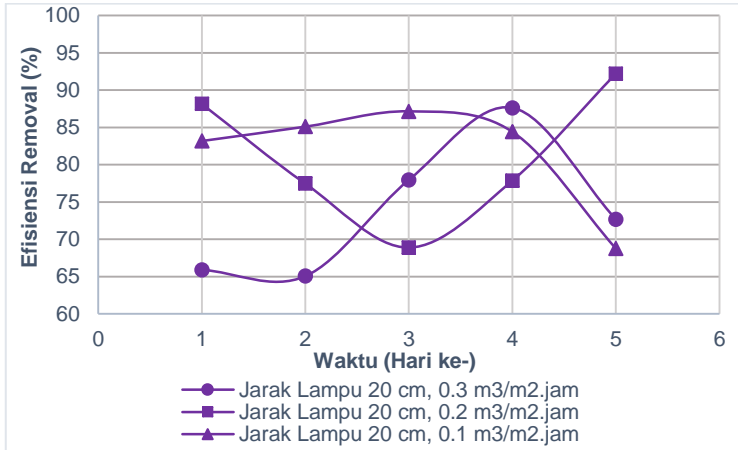
efisiensi *removal* zat organik (KMnO_4) dari Tabel 4.15 ada pada Gambar 4.21 di bawah ini.



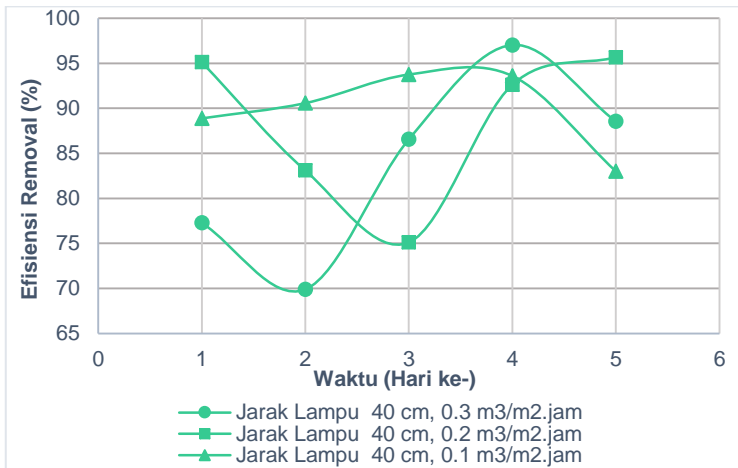
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.21 Efisiensi *Removal* Zat Organik (KMnO₄) Seluruh Reaktor dengan Seluruh Variasi Kecepatan Filtrasi:

- Reaktor Kontrol Luar
- Reaktor Kontrol Dalam
- Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 20 cm
- Reaktor dengan Lampu LED Putih Jarak 40 cm

Pada Gambar 4.21 di atas dapat dilihat pada garis yang berwarna sama merupakan perbandingan nilai efisiensi *removal* tiap variasi kecepatan filtrasi. Grafik tersebut juga menunjukkan urutan yang di atas adalah nilai efisiensi *removal* setiap reaktor yang kecepatan filtrasinya 0,1 m³/m².jam. Sedangkan garis yang diurutkan paling bawah setiap reaktor adalah nilai efisiensi *removal* yang paling rendah dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam. Menurut Rahayu (2009; dalam Adlin, 2012). Semakin lambat kecepatan filtrasi maka semakin baik pula filter tersebut dalam menurunkan bahkan menghilangkan zat-zat pencemar dalam air baku. Dapat dilihat juga urutan reaktor yang memiliki nilai efisiensi *removal* zat organik (KMnO₄) yang paling rendah adalah reaktor kontrol luar pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dan yang paling tinggi adalah reaktor dengan lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan pada kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam. Setelah semua variasi dilakukan pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa nilai efisiensi *removal* pada reaktor kontrol di luar ruangan adalah yang paling kecil di bandingkan nilai efisiensi *removal* pada reaktor lain. Hal ini dikarenakan pada reaktor kontrol luar terdapat lumut yang tumbuh pada geotekstil yang menyebabkan air *inlet* tidak dapat tersaring dengan lebih baik. Sedangkan pada kontrol dalam nilai efisiensi *removal* lebih kecil dibandingkan reaktor dengan lampu LED dikarenakan tidak adanya cahaya yang masuk ke dalam filter sehingga *schmutzdecke* yang tumbuh tidak sebgus reaktor dengan lampu LED.

Variasi kecepatan filtrasi yang paling baik adalah yang 0,1 m³/m².jam dibandingkan variasi lain dikarenakan efisiensi penurunan masing-masing parameter lebih besar. Menurut Huisman dan Wood (1974; dalam Adlin, 2012), kecepatan filtrasi dalam filter yang semakin lambat akan menghasilkan efisiensi penurunan yang semakin tinggi. Hal ini dikarenakan dengan kecepatan yang lebih rendah, zat-zat pencemar dalam air baku akan tersaring dan menempel dengan baik pada

lapisan *schmutzdecke*. Dalam penelitian ini, filter dioperasikan dengan kecepatan 0,3 m³/m².jam terlebih dahulu baru kemudian 0,2 m³/m².jam dan yang terakhir 0,1 m³/m².jam sehingga pada kecepatan pertama lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk belum sempurna dan semakin sempurna pada kecepatan berikutnya. Itulah sebabnya efisiensi penurunan masing-masing parameter lebih rendah dari kecepatan pertama dan semakin meningkat pada kecepatan berikutnya. Untuk hasil penelitian yang lebih baik lagi, yaitu bila masing-masing kecepatan filtrasi dijalankan secara bersamaan sehingga perlakuan untuk ketiga variasi kecepatan filtrasi sama. Karena pada penelitian ini hanya menggunakan 4 reaktor, maka perlakuan pada variasi 1-2-3-4, 5-6-7-8, dan 9-10-11-12 tidak sama. Dan hasil penurunan efisiensi tingkat kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO₄) lebih tinggi pada saat reaktor beroperasi untuk variasi 9, 10, 11, dan 12.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Reaktor dengan kontribusi lampu LED putih dengan jarak 40 cm dari air permukaan adalah reaktor yang menurunkan parameter tingkat kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) yang paling besar untuk semua variasi kecepatan filtrasi dibandingkan reaktor lainnya. Lalu urutan nomor dua adalah reaktor dengan kontribusi lampu LED putih dengan jarak 20 cm dari air permukaan diikuti dengan reaktor kontrol yang diletakkan di dalam ruangan, lalu urutan terakhir adalah reaktor kontrol yang diletakkan di luar ruangan. Adapun nilai rata-rata efisiensi *removal* dengan kontribusi lampu LED putih berjarak 40 cm dari air permukaan sebagai berikut:
 - Parameter kekeruhan dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 88,12%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 94,49%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 96,71%.
 - Parameter total *coliform* dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 98,22%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 99,56%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 99,67%.
 - Parameter zat organik (KMnO_4) dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 83,86%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 88,32%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ sebesar 89,96%.
2. Kontribusi lampu LED putih dengan jarak 40 cm atau 20 cm dari air permukaan pada proses *slow sand filter* dalam mengurangi kekeruhan, total *coliform*, dan zat

organik (KMnO_4) bila dibandingkan dengan reaktor kontrol yang diletakkan di dalam ruangan memiliki nilai efisiensi penurunan yang lebih besar dengan kisaran sebagai berikut:

- Parameter kekeruhan dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 1,11% - 14,06%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 2,91% - 7,57%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 0,45% - 3,31%.
 - Parameter total *coliform* dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 6,03% - 23,50%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 1,84% - 8,00%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 3,64% - 4,79%.
 - Parameter zat organik (KMnO_4) dengan kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 36,36% - 62,38%, dengan kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 32,12% - 46,88%, dan yang terakhir dengan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ lebih besar 10,18% - 49,46%.
3. Kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ memiliki nilai paling tinggi dalam menurunkan parameter kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) dibandingkan dua kecepatan filtrasi lainnya. Lalu reaktor yang menggunakan lampu LED putih dengan jarak 40 cm ke air permukaan memiliki nilai paling tinggi dalam menurunkan parameter kekeruhan, total *coliform*, dan zat organik (KMnO_4) dibandingkan reaktor yang menggunakan lampu LED putih dengan jarak 20 cm.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Reaktor dijalankan selama lebih dari 5 hari agar dapat mengetahui lebih detail ketika sudah stabil atau belum.

2. Saat aklimatisasi dapat dilakukan lebih dari 2 minggu agar hasilnya lebih bagus.
3. Reaktor dijalankan secara bersamaan untuk variasi kecepatan filtrasi yang berbeda agar perlakuannya sama dan dapat dibandingkan.
4. Dicoba menggunakan lampu ultraviolet atau infrared untuk menggantikan lampu LED dan diamati apakah lapisan *schmutzdecke* tetap terbentuk atau tidak.
5. Dilakukan penelitian lanjutan mengenai kontribusi media, *schmutzdecke*, atau LED yang dapat mengurangi bahan pencemar pada air baku dari yang paling besar hingga yang paling kecil secara berurutan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

- Adlin, I. 2012. *Analisis Penggunaan Upflow Slow Sand Filter untuk Pengolahan Air Sumur menjadi Air Minum dengan Variasi Ketebalan Media dan Kecepatan Filtrasi*. Surabaya: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Amalia, A. 2014. *Pembentukan Lapisan Schmutzdecke pada Unit Slow Sand Filter untuk Pengolahan Air Payau Ditinjau dari Parameter N Total, P Total, Total Coli, dan COD*. Surabaya: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Anonim. 1995. SNI 03 – 3981 – 1995 tentang *Tata Cara Perencanaan Instalasi Saringan Pasir Lambat*.
- Anonim. 2008. SNI 3423:2008 tentang *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*.
- Ayuningtyas, Fitriani, N., dan Hadi, W. 2013. *Pengaruh Ketebalan Media Geotextile dan Arah Aliran Slow Sand Filter Rangkaian Seri untuk Menyisihkan P Total dan N Total*. Jurnal Sains dan Seni POMITS, 2(1), hal. 26-29.
- Cahyonugroho, O. H. 2010. *Pengaruh Intensitas Sinar Ultraviolet dan Pengadukan terhadap Reduksi Jumlah Bakteri E.coli*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, 2(1), hal. 18-23.
- Cleary, S. 2005. *Sustainable Drinking Water Treatment for Small Communities Using Multistage Slow Sand Filter*. University of Waterloo: Ontario
- Darsono, V. dan Teguh, S. 2002. *Pengaruh Diameter dan Ketebalan Pasir Dalam Saringan Pasir Lambat Terhadap Penurunan Kadar Besi*. Yogyakarta: Tugas Akhir Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri, Universitas Atma Jaya.

- Dini, P. R., Fitriani, N., dan Hadi, W. 2013. *Pengaruh Penambahan Geotekstil pada Unit Slow Sand Filter untuk Mengolah Air Siap Minum*. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Eri, R. I. 2010. *Kajian Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih dengan Kombinasi Proses Upflow Anaerobic Filter dan Slow Sand Filter*. Surabaya: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Faure, Y.H., Baudoin A., Pierson P., dan Ple O. 2006. *A Contribution for Predicting Geotextile Clogging During Filtration of Suspended Solids*. *Geotextile and Geomembranes* Volume 24, Issue 1, February 2006, Pages 11-20.
- Hadi, W. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya: ITS Press.
- Khumalasari, D. E. 2012. *Pengaruh Roughing Filter dan Slow Sand Filter dalam Pengolahan Air Minum dengan Air Baku dari Intake Karangpilang terhadap Parameter Biologis*. Surabaya: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Lamy, E., Lassabatere, L., Bechet, B., dan Andrieu, H. 2013. *Effect of a Nonwoven Geotextile on Solute and Colloid Transport in Porous Media Under Both Saturated and Unsaturated Conditions*. *Geotextile and Geomembranes* Volume 36, Pages 55-56.
- Langenbach, K. 2010. *Slow Sand Filtration Of Secondary Effluent For Wastewater Reuse: Evaluation Of Performance And Modeling Of Bacteria Removal*. PhD Thesis. *Berichte Aus Der Siedlungswasserwirtschaft Technische Universitaet Muenchen*.

- Lingga. 2011. *Pengaruh Cahaya Terhadap Tumbuhan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Marwa, Raiba, R., dan Tuankotta, K. 2013. *Pengaruh Intensitas Spektrum Cahaya Warna Merah terhadap Pertumbuhan Chlorella sp. Skala Laboratorium*. Jurnal Teknologi Budidaya Vol. 3. Ambon: Balai Budidaya Laut Ambon.
- Maryani, D., Masduqi, A., dan Moesriati, A. 2014. *Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform*. Jurnal Teknik POMITS, 3(2), hal. 76-81.
- Masduqi, A. dan Assomadi, A. 2012. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press
- Mustafa, H., Fitriani, N., dan Karnaningroem, N. 2013. *Uji Kemampuan Slow Sand Filter sebagai Unit Pengolah Air Outlet Prasedimentasi PDAN Ngagel I Surabaya*. Surabaya: Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Nasrudin, A. A. dan Dzulkifli. 2015. *Rancang Bangun Aplikasi Lux Meter BH1750 sebagai Alat Ukur Kekeruhan Air Berbasis Mikrokontroler*. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, 4(3), hal. 89-94.
- Nayomi, H. dan Rahardjo, A. 2013. *Peluang Pemanfaatan Lampu LED sebagai Sumber Penerangan*. Depok: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia
- Nugraha, M. P. H. 2016. *Kajian Kualitas Air Sungai Bawah Tanah pada Daerah Imbuhan dan Daerah Pengolahan Air Goa Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Skripsi untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
- Pacini, A.V., Ingallinella, M. A., dan Sanguinetti, G. 2005. *Removal of Iron and Manganese Using Biological*

Roughing Up Flow Filtration Technology. Water Research. Vol. 39, hal. 4463-4475

- Pariawan, A. 2014. *Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kandungan Karotenoid Chlorellasp.* Surabaya: Skripsi untuk Memperoleh Gelar Sarjana Perikanan, Universitas Airlangga
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang *Persyaratan Kualitas Air Minum.*
- Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang *Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*
- Purbowarsito, H. 2011. *Uji Bakteriologis Air Sumur di Kecamatan Semampir Surabaya.* Surabaya: Skripsi untuk Memperoleh Gelar Sarjana Departemen Biologi, Universitas Airlangga
- Rahmayanti, S. 2012. *Analisis Penggunaan Downflow Slow Sand Filter untuk Pengolahan Air Sumur menjadi Air Minum dengan Variasi Media dan Kecepatan Filtrasi.* Surabaya: Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rizki, M.H., Dini, R.P., dan Fitriani N. 2013. *The Effectiveness of Geotextile on Slow Sand Filter in Removing Pollutant.* Surabaya: Departemen of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Subekti, P., Ariyanto, A., dan Simamora, F. Y. 2012. *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir Lambat "Up Flow" di Kampus Universitas Pasir Pengaraian Kabupaten Rokan Hulu Propinsi Riau.* Jurnal APTEK, 4(2), hal. 77-88.

- Suhendra, A. 2011. *Studi Interaksi antara Geotekstil dan Material Timbunan*. Jakarta: Skripsi untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil, Universitas Bina Nusantara.
- Susilowati, E., Triyono, S., dan Suganti, C. 2015. *Pengaruh Jarak Lampu Neon terhadap Pertumbuhan Tanaman Kailan (*Brassica oleraceae*) dengan Sistem Hidroponik Sumbu di Dalam Ruangan*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 4(4), hal. 293–304.
- Syafriyudin, Priyambodo, S., Saudah, S., dan Ledhe N. T. 2015. *Pengaruh Variabel Warna Lampu LED terhadap Pertumbuhan Tanaman Krisan*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri*. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi AKPRIND
- Utomo, S., Sir, T., dan Sonbay, A. 2012. *Desain Saringan Pasir Lambat pada Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPAB) Kolhuan Kota Kupang*. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), hal. 38-46.
- Wibiyanti, P. I. 2008. *Kajian Pencahayaan pada Industri Kecil Pakaian Jadi dan Pembuatan Tas di Perkampungan Industri Kecil, Penggilingan*. Depok: Skripsi untuk Memperoleh Gelar Sarjana Jurusan Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Universitas Indonesia
- www.mastergrowled.com. 2016. *Wavelengths for Effective Plant Growth*. Diakses pada tanggal 2 Februari 2017 pukul 10:47.
- Yusuf, Y., Nisma, F., dan Rusdi, N. K. 2011. *Analisa Kandungan Air Sumur Warga RT 12, 17, dan 18 RW 09 Kelurahan Kelapa Dua Wetan Kecamatan Ciracas, Jakarta Timur*. *Prosiding Penelitian Bidang Ilmu Eksakta*. Jakarta: UHAMKA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

Prosedur Analisis Kekeruhan

Alat dan Bahan

1. Turbidimeter
2. Beaker glass 100 mL
3. Kuvet
4. Tisu
5. Air sampel
6. Aquades

Prosedur Pelaksanaan Analisis

1. Sambungkan kabel alat turbidimetri ke arah aliran listrik.
2. Hidupkan alat turbidimeter dengan menekan tombol *on/off*.
3. Bilas kuvet yang digunakan dalam pengukuran menggunakan aquades tamping air bekas bilasan pada beaker glass 100 mL.
4. Kemudian gunakan tisu untuk membersihkan sisa aquades hingga kuvet benar-benar kering.
5. Masukkan air sampel yang akan dianalisis nilai kekeruhannya menggunakan turbidimeter.
6. Tutup kuvet dengan rapat setelah air sampel dituangkan ke dalam kuvet.
7. Lap bagian luar kuvet hingga kering dan terbebas dari kotoran.
8. Masukkan kuvet ke dalam tempatnya di turbidimeter.
9. Nilai kekeruhan muncul pada monitor alat turbidimeter, kemudian catat nilai kekeruhan sampel.

Prosedur Analisis Nilai Permanganat

Alat dan bahan:

1. Pemanas Listrik
2. Erlenmeyer 250 mL
3. Gelas Ukur 100 mL

4. Pipet Ukur 10 mL dan 5 mL
5. Pipet Tetes
6. Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) 4 N yang bebas organik
7. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
8. Larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N

Prosedur Pelaksanaan Analisis

1. Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur.
2. Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
3. Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N dengan pipet tetes hingga terjadi warna merah muda.
4. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
5. Tambahkan 10 mL larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N.
6. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
7. Tambahkan 1 mL Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu hingga air menjadi jernih.
8. Titrasi dengan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
9. Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

$$KMnO_4 (/L) = \frac{1000}{\text{volume sampel} [(10 + a) \times N] - (1 \times 0,1)] \times 31,6 \times P}$$

Dimana: a = mL titrasi larutan KMnO₄
 N = normalitas larutan KMnO₄
 P = pengenceran

Prosedur Analisis Total *Coliform*

Alat dan bahan:

1. Neraca analitik
2. Inkubator
3. *Auto clave*
4. Tabung reaksi
5. Tabung durham
6. Pipet ukur 10 mL

7. Labu pengencer 1 L
8. Kertas coklat
9. Kapas lemak
10. Spiritus
11. Rak tabung reaksi
12. Toples
13. Karet
14. Spatula
15. *Beaker Glass* 250 mL
16. Air Sampel
17. Aquades
18. Media *Lactose Broth* (LB)
19. NaCl

Prosedur Pelaksanaan Analisis

1. Siapkan neraca analitik dan masukkan *beaker glass* 250 mL ke dalam neraca analitik. Tekan tombol TER untuk membuat nol *beaker glass*.
2. Ambil bubuk media *lactose broth* (LB) menggunakan spatula, masukkan secara perlahan ke dalam *beaker glass* yang sudah di dalam neraca analitik.
3. Timbang media *lactose broth* (LB) menggunakan neraca analitik. Berat bubuk *lactose broth* (LB) yang harus ditimbang untuk menghasilkan 1000 mL larutan media adalah 13 gram.
4. Tutup neraca analitik, lakukan percobaan pada monitor neraca analitik hingga berat yang dikehedaki muncul.
5. Setelah proses penimbangan, larutkan bubuk *lactose broth* (LB) dengan aquades di dalam labu pengencer hingga 1000 mL.
6. Masukkan 10 mL media *lactose broth* (LB) ke masing-masing 15 tabung reaksi yang sudah disusun pada rak. Gunakan pipet ukur dengan ukuran 10 mL untuk menakar larutan tersebut.
7. Masukkan tabung durham secara terbalik ke masing-masing tabung reaksi yang sudah terisi 10 mL media *lactose broth* (LB).
8. Tutup setiap tabung reaksi menggunakan kapas lemak hingga bagian atas tabung reaksi benar-benar tertutup rapat.

9. Gunakan toples untuk mengumpulkan seluruh tabung reaksi yang sudah ditutup kapas lemak.
10. Tutup toples tersebut menggunakan kertas coklat dan diikat menggunakan karet
11. Masukkan seluruh media dan peralatan yang akan digunakan ke dalam *auto clave* untuk sterilisasi.
12. Setelah sterilisasi diamkan sejenak media hingga uap panas media menguap dan hilang.
13. Susun kembali tabung reaksi yang berisi media *lactose broth* (LB) pada rak tabung.
14. Siapkan air sampel yang akan dianalisis. Terdapat 3 volume yang akan dimasukkan ke dalam tabung reaksi.
15. Total tabung reaksi yang digunakan dalam satu kali analisis adalah 15 buah.
16. Volume air sampel 0,1 mL untuk 5 tabung, 1 mL untuk 5 tabung, dan 10 mL untuk 5 tabung.
17. Sampel yang tanpa pengenceran langsung dimasukkan ke tabung reaksi berdasarkan volumenya. Khusus untuk sampel yang berasal dari air sumur perlu pengenceran 1000 kali sebelum dimasukkan ke tabung reaksi dengan volume yang sama. Air pengencer dibuat dengan komposisi 8,5 gram NaCl dilarutkan dengan 1000 mL aquades.
18. Proses memasukkan sampel ke dalam media harus dilakukan secara septik, yaitu bekerja di dekat api.
19. Setelah seluruh media terisi sampel, ikat tabung reaksi berdasarkan volume sampelnya.
20. Masukkan 15 tabung reaksi yang sudah diisi sampel ke dalam toples.
21. Tutup toples tersebut menggunakan kertas coklat dan ikat menggunakan karet.
22. Masukkan sampel yang akan dianalisis ke dalam inkubator. Proses inkubasi berlangsung selama 24 jam.
23. Setelah 24 jam, lakukan pengamatan pada gelembung yang terbentuk pada tabung durham yang diletakkan secara terbalik di dalam tabung reaksi.
24. Hitung jumlah tabung yang bergelembung pada setiap volumenya.
25. Lakukan pembacaan jumlah bakteri *coliform* dengan menggunakan tabel residu MPN berurutan dari tabung reaksi

yang berisi 10 mL air sampel, lalu 1 mL air sampel, dan yang terakhir yang berisi 0,1 mL air sampel.

26. Catat hasil pembacaan tersebut sebagai data analisis.

Prosedur Analisis TPC (*Total Plate Count*)

- **Pembuatan Media**

1. Ditimbang NaCl 2,125 gram dalam *beaker glass* pada neraca analitik
2. Ditambahkan akuades hingga 250 mL dalam *beaker glass* 250 mL
3. Larutan NaCl diambil sebanyak 9 mL untuk masing-masing tabung (ada 3 tabung reaksi)
4. Dimasukkan ke dalam 6 tabung reaksi kemudian diberi label 10^{-1} hingga 10^{-3}
5. Nutrient agar (NA) ditimbang sebanyak 4 gram dalam *beaker glass* 250 mL di neraca analitik kemudian ditambahkan akuades hingga 200 mL lalu dipanaskan
6. Larutan NA yang telah dipanaskan diambil sebanyak masing-masing 10 ml dan dituang ke dalam tabung reaksi
7. 3 tabung reaksi berisi NaCl, 3 tabung reaksi berisi NA, 3 cawan petri, 1 pipet ukur, 1 botol dibungkus dengan kertas coklat dan disumbat dengan kapas lemak
8. Disterilisasi dengan autoclave

- **Metode Tuang**

1. Media NA yang telah disterilisasi diencerkan dengan dipanaskan diatas kompor listrik dan dibiarkan hangat
2. Air sampel diambil dan disimpan dalam botol yang telah disterilisasi, kemudian diambil 1 ml. Air tersebut dituang ke dalam tabung reaksi yang berisi NaCl yang telah disterilisasi dengan label 10^{-1}
3. Larutan di tabung NaCl 10^{-1} diambil 1 ml dan dituang ke dalam tabung reaksi berisi NaCl 10^{-2} yang telah disterilisasi
4. Larutan di tabung NaCl 10^{-2} diambil 1 ml dan dituang ke dalam tabung reaksi berisi NaCl 10^{-3} yang telah disterilisasi
5. Larutan NaCl berlabel 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , diambil sebanyak 0,1 ml untuk masing-masing cawan

6. Dituang dalam 3 cawan petri yang telah diberi label 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
7. NA cair yang masih hangat dituang ke dalam cawan petri
8. Digoyang-goyangkan hingga rata di permukaan cawan (5x kanan-kiri, 5x depan-belakang), kemudian ditunggu hingga memadat
9. Cawan berisi NA dibalik lalu dibungkus dengan kertas coklat
10. Diinokulasi selama 24 jam
11. Diamati pertumbuhan yang terbentuk dan dihitung dengan *colony counter*
12. Dihitung jumlah koloni dalam sampel dengan rumus:

$$\text{Koloni per ml} = \frac{\text{jumlah koloni per cawan}}{\text{ml sampel pada cawan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN



Penelitian Pendahuluan Intensitas Cahaya Lampu LED Putih pada Reaktor



Penelitian Pendahuluan Intensitas Cahaya Matahari di Dalam dan di Luar Ruangan



Foto Reaktor di Dalam Workshop



Foto Reaktor di Luar Ruangan



Ketika
Pengambilan
Sampel untuk
Analisis
Schmutzdecke
pada tiap
reaktor.

(Gambar dari
atas ke bawah:

Kontrol Luar

Kontrol Dalam

Jarak Lampu 20
cm

Jarak Lampu 40
cm)



KUA Mulyorejo, Surabaya



Tempat Pengambilan Sampel Air Sumur di depan KUA



Pencucian Media Filter


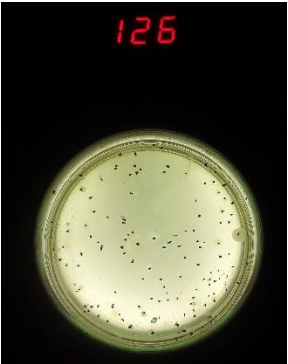




Pengukuran Kecepatan Filtrasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN C
HASIL PENELITIAN BAKTERI *SCHMUTZDECKE*

Tabel L.1 Hasil Penelitian Bakteri *Schmutzdecke* dengan metode TPC

No.	Reaktor	Gambar Hasil Pengamatan	Jumlah Koloni Bakteri
1.	Kontrol Luar		66 koloni bakteri dengan pengenceran 10^{-2}
2.	Kontrol Dalam		126 koloni bakteri dengan pengenceran 10^{-2}

3.	Jarak Lampu 20 cm		80 koloni bakteri dengan pengenceran 10^{-3}
4.	Jarak Lampu 40 cm		109 koloni bakteri dengan pengenceran 10^{-3}

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah koloni dalam sampel dapat dihitung sebagai berikut:

- Jumlah koloni yang teramati di cawan pada reaktor kontrol luar = 66 koloni
 - Pengenceran = 10^{-2}
 - Jumlah koloni bakteri (n)
- $$n = \frac{\text{jumlah koloni teramati}}{\text{volume sampel}} \times \frac{1}{\text{angka pengenceran}}$$
- $$= \frac{66 \text{ koloni}}{10 \text{ mL}} \times \frac{1}{10^{-2}} = 660 \text{ koloni}$$
- Log jumlah koloni bakteri = $\log (66 \times 10^1) = 2,82$

Hasil log uji TPC yang lain dapat dilihat pada Tabel L.2 di bawah ini.

No.	Reaktor	Koloni	Log
1.	Kontrol Luar	660	2,82
2.	Kontrol Dalam	1260	3,1
3.	Jarak Lampu 20 cm	8000	3,9
4.	Jarak Lampu 40 cm	10900	4,04

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”



BIOGRAFI PENULIS

Penulis dilahirkan di Medan, 2 Oktober 1995. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis mengenyam pendidikan sekolah dasar di SDN Cipinang 04 Pagi Jakarta Timur. Kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMP Jakarta Islamic School dan SMA

Labschool Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313100105. Selama di Jurusan Teknik Lingkungan, penulis tercatat sebagai pengurus dengan menjabat sebagai anggota di Departemen Dalam Negeri BEM Fakultas tahun 2014/2015. Penulis kemudian menjabat sebagai Sekretaris Departemen Dalam Negeri BEM Fakultas pada kepengurusan 2015/2016 dan anggota Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL 2015/2016. Penulis juga aktif sebagai panitia di kegiatan kampus. Pada tahun 2016, penulis mengikuti kerja praktik di PT Pertamina RU IV Cilacap selama 1,5 bulan. Pada tahun 2017, penulis mengikuti pelatihan ISO 14001:2015 yang diadakan di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email di carissa.yumna.ekadewi@gmail.com