



TUGAS AKHIR - RE 141581

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

VANNY WIDIYANTI

3313100103

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)* BIRU DAN MERAH**

**VANNY WIDIYANTI
3313100103**

**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 BLUE
AND RED LIGHT-EMITTING DIODE (LED)
LAMP**

VANNY WIDIYANTI

3313100103

SUPERVISOR

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

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering, Environmental, and Geo Science

Institute Technology of Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

HALAMAN PENGESAHAN

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

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VANNY WIDIYANTI
NRP. 3313100103

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)* BIRU DAN MERAH

Nama : Vanny Widiyanti

NRP : 3313100103

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

ABSTRAK

Kebutuhan air bersih yang semakin besar terutama pada wilayah perkotaan yang minim akan sumber daya air mengakibatkan kebutuhan persediaan air bersih bagi masyarakat meningkat. Masyarakat wilayah Surabaya masih ada yang menggunakan air tanah sebagai pemenuh kebutuhan air bersih. Dengan semakin besarnya laju pertambahan penduduk maka pengambilan kebutuhan air bersih masyarakat dan juga industri semakin besar. Selain masalah kualitas air masalah yang muncul saat ini adalah terbatasnya lahan untuk pengolahan air. Untuk mengatasi permasalahan mengenai pengolahan air tersebut maka digunakan sistem pengolahan air minum dengan menggunakan *slow sand filter* (SSF) yang merupakan unit pengolahan air minum dengan memanfaatkan lapisan *biofilm* yang terbentuk pada media filter. pada penelitian ini digunakan lampu *light-emitting diode* (LED) sebagai cahaya buatan pengganti matahari. Pada unit SSF ini digunakan media *geotextile* yang dapat membantu untuk menyisihkan polutan yaitu seperti kekeruhan, Zat organik, total *coliform*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui efektifitas penyisihan total *coliform*, zat organik yang dapat diturunkan oleh unit *slow sand filter* dengan menggunakan variasi warna lampu LED untuk air sumur, serta mengetahui pengaruh *geotextile* terhadap penyisihan kekeruhan, total *coliform*, Zat organik. Pada penelitian ini akan digunakan 3 reaktor dengan 1 reaktor sebagai reaktor kontrol yaitu dengan menggunakan sinar matahari dan 2 reaktor menggunakan lampu LED. Terdapat 3 variasi kecepatan filtrasi yang digunakan yaitu 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².

jam. Digunakan arah aliran *downflow* pada proses pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan SSF dengan menggunakan lampu LED berwarna biru dan merah dapat mengurangi kandungan total *coliform* dan kekeruhan pada SSF, dan kinerja filter paling optimal terdapat pada kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.

Kata Kunci: *Downflow slow sand filter*, LED, *geotextile*, total *coliform*, kecepatan filtrasi

STUDY OF SLOW SAND FILTER PERFORMANCE WITH THE HELP OF BLUE AND RED LIGHT-EMITTING DIODE (LED) LAMP

Name : Vanny Widiyanti
NRP : 3313100103
Supervisor : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc.,Ph.D

ABSTRACT

The increasing of demand clean water, especially in urban areas that lack the minimum water resources resulting in the need for clean water supply for the community increases. The people of Surabaya are still using ground water as the need of clean water. With the increasing rate of population growth, the clean water needs of the community as well as the larger the industry. In addition to water quality problems the problem that arises today is the limited land for water treatment. To overcome the problem of water treatment, drinking water treatment system using slow sand filter (SSF) is a drinking water treatment unit using biofilm layer formed on filter media. In this study used light-emitting diode (LED) lights as artificial light replacement of the sun. In this SSF unit is used geotextile media that can help to remove pollutants such as turbidity, organic substances, total *coliform*.

The purpose of this study is to determine the effectiveness of the total removal of coliform, organic substances that can be derived by slow sand filter unit by using variations of LED lamp color for well water, and know the effect of geotextile on turbidity removal, total coliform, organic substance. In this research will be used 3 reactor with 1 reactor as control reactor that is by using sunlight and 2 reactor using LED lamp. There are 3 variations of filtration speed used is 0,1 m³ / m².hour, 0.2 m³ / m².hour , and 0.3 m³ / m².Hour. Used downflow flow direction on the processing. The results show that using SSF using blue and red LED lamps can reduce the

total coliform and turbidity content of SSF, and the optimum filter performance is at $0.1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hour}$.

Keywords: *Downflow slow sand filter*, LED, *geotextile*, total *coliform*, filtration rate

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan anugerah, rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir “Studi kinerja *slow sand filter* dengan bantuan lampu *Light-emitting diode* (LED) Biru dan Merah” ini inshaAllah dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Penyusun menyampaikan rasa terima kasih pada pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya Laporan ini, antara lain:

1. Prof.Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph. D selaku dosen pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini, hingga dapat diselesaikan atas arahan serta bantuannya.
2. Ir. Bowo Djoko M., M.Eng, Dr. Ali Masduqi, ST., MT., dan Welly Herumurti, ST., M.Sc, selaku dosen pengarah dalam pengerjaan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan atas bantuan, saran dan bimbingannya.
3. Keluarga penulis yang selalu memberikan bantuan moril, dana, dan doa dalam pengerjaan tugas akhir penulis.
4. Carissa Yumna Ekadewi sebagai rekan tugas akhir yang senantiasa berjuang bersama dalam pengerjaan unit *slow sand filter* hingga akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran selalu diterima sebagai bagian dari diskusi.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ix
ABSTRAC.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kualitas Air	5
2.2 Pengertian Air Minum dan Parameter dalam Air Minum	6
2.3 Filtrasi.....	8
2.4 Unit Slow Sand Filter	10
2.4.1 Mekanisme Proses Filtrasi pada Unit Slow Sand Filter	14
2.4.2 Proses Pembentukan Lapisan <i>Schmutzdecke</i>	15
2.4.3 Downflow Slow Sand Filter	16
2.4.4 Spesifikasi Slow Sand Filter.....	16
2.5 Hidrolika Filtrasi dan Headloss	17
2.6 Karakteristik Media Geotekstil	19
2.6.1 Pembentukan Biofilm pada Media Geotextile.....	19
2.7 Lampu Light-Emitting Dieode (LED)	20
2.7.1 Penggunaan LED berwarna.....	24
2.8 Analisis Ayakan.....	26
2.9 Parameter Penting dalam Unit Slow Sand Filter	27
2.9.1 Total <i>Coliform</i>	27
2.9.2 Zat Organik	29
2.9.3 Tingkat Keekeruhan Air	29
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Umum.....	31
3.2 Kerangka Penelitian.....	31

3.3	Tahapan Penelitian	33
3.3.1	Ide Tugas Akhir	33
3.3.2	Studi Literatur	33
3.3.3	Penelitian Pendahuluan	33
3.3.4	Persiapan Alat dan Bahan	34
3.3.5	Pelaksanaan Penelitian	40
3.3.6	Analisis Data dan Pembahasan	42
3.3.7	Kesimpulan dan saran	42
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Analisis Kualitas Air baku	43
4.2	Pengoperasian Reaktor slow sand filter	43
4.2.1	Analisis kekeruhan, zat organik, dan total <i>coliform</i>	45
4.3	Pengoperasian Tahap Pertama	46
4.2.1	Pengaruh aklimatisasi media terhadap efisiensi <i>removal</i> terhadap parameter kekeruhan.	47
4.2.2	Pengaruh aklimatisasi media terhadap parameter zat organik	50
4.2.3	Pengaruh aklimatisasi media terhadap parameter Total <i>Coliform</i>	52
4.3	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam	56
4.3.1	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan kekeruhan	56
4.3.2	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan zat organik.	59
4.3.3	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan total <i>coliform</i>	62
4.4	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam	65
4.4.1	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan kekeruhan	65
4.4.2	Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan zat organik	68

4.4.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan total <i>coliform</i>	72
4.5 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam.....	76
4.5.1 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan kekeruhan	76
4.5.2 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan zat organik	79
4.5.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,1 m ³ /m ² .jam terhadap efisiensi penurunan total <i>coliform</i>	82
4.5 Perbandingan antar variasi penelitian terhadap efisiensi penurunan kekeruhan, zat organik, dan total <i>coliform</i>	87
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	98
BIOGRAFI PENULIS.....	117

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen yang terdapat pada slow sand filter	11
Gambar 2.2	Spektrum cahaya dari berbagai sinar.....	21
Gambar 2.3	Pembentukan cahaya putih pada lampu LED.....	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Kerangka Penelitian	32
Gambar 3.2	Reaktor Downflow slow sand filter	34
Gambar 3.3	Pemasangan Lampu pada tutup reaktor	38
Gambar 3.4	Sketsa Reaktor Downflow Slow Sand Filter.....	39
Gambar 4.2	Jumlah Koloni Bakteri pada Reaktor Uji.....	55
Gambar 4.3	Efisiensi <i>Removal</i> penurunan parameter kekeruhan pada masing-masing reaktor SSF	88
Gambar 4.4	Efisiensi <i>Removal</i> penurunan parameter zat organik pada masing-masing reaktor SSF.....	89
Gambar 4.5	Efisiensi <i>Removal</i> penurunan parameter total <i>coliform</i> pada masing-masing reaktor SSF.....	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Fisika dalam Air minum	7
Tabel 2.2 Parameter Kimia dalam Air Minum	7
Tabel 2.3 Parameter Mikrobiologis dalam Air Minum	8
Tabel 2.4 Kriteria desain unit <i>slow sand filter</i>	17
Tabel 2.5 Spesifikasi penggunaan lampu LED biru dan merah ..	26
Tabel 3.1 Kebutuhan Debit untuk masing-masing Kecepatan Filtrasi.....	36
Tabel 3.2 Intensitas Cahaya pada Lampu LED	38
Tabel 4.1 Analisis Awal Kualitas Air Baku.....	43
Tabel 4.2 Intensitas Cahaya pada Lampu LED	43
Tabel 4.3 Efisiensi <i>Removal</i> Parameter Kekeruhan pada Tahap Aklimatisasi	48
Tabel 4.4 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Parameter Zat Organik pada Tahap Aklimatisasi	51
Tabel 4.5 Efisiensi <i>removal</i> total <i>coliform</i> pada tahap aklimatisasi.....	53
Tabel 4.6 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Parameter Kekeruhan dengan Kecepatan 0,3 m ³ /m ² .jam.....	57
Tabel 4.7 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam	57
Tabel 4.8 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Zat Organik dengan Kecepatan 0,3 m ³ /m ² .jam.....	60
Tabel 4.10 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Total <i>Coliform</i> dengan Kecepatan 0,3 m ³ /m ² .jam.....	63
Tabel 4.11 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam	63
Tabel 4.12 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap kekeruhan dengan kecepatan 0,2 m ³ /m ² .jam	66
Tabel 4.13 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam	66
Tabel 4.14 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Zat Organik dengan Kecepatan 0,2 m ³ /m ² .jam.....	69
Tabel 4.15 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam	69
Tabel 4.16 Efisiensi <i>Removal</i> terhadap total <i>coliform</i> dengan kecepatan 0,2 m ³ /m ² .jam	73

Tabel 4.17	Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam.....	73
Tabel 4.18	Efisiensi <i>Removal</i> terhadap Kekeruhan dengan Kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$	77
Tabel 4.19	Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam.....	77
Tabel 4.20	Efisiensi <i>Removal</i> terhadap zat organik dengan kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$	80
Tabel 4.21	Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam.....	80
Tabel 4.22	Efisiensi <i>Removal</i> terhadap total <i>coliform</i> dengan kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$	83
Tabel 4.23	Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam.....	83
Tabel 4.24	Rata-Rata Efisiensi Penurunan Filter.....	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Analisis Kekeruhan.....	99
Lampiran 2 Tahapan Analisis Total <i>Coliform</i>	100
Lampiran 3 Tahapan Analisis Permanganat	104
Lampiran 4 Analisis Total Plate Count (TPC).....	107
Lampiran 5 Hasil pengamatan jumlah koloni pada lapisan schmutzdecke.....	109
Lampiran 6 Daerah pengambilan air sumur	111
Lampiran 7 Reaktor Slow sand filter.....	112

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan air bersih yang semakin besar terutama pada wilayah perkotaan yang minim akan sumber daya air mengakibatkan kebutuhan persediaan air bersih bagi masyarakat meningkat, kemudian adanya penggunaan air sumur yang masih digunakan sebagai air baku untuk pemenuhan sehari-hari oleh masyarakat. Dengan semakin besarnya laju pertumbuhan penduduk maka pengambilan kebutuhan air bersih masyarakat dan juga industri semakin besar.

Masalah yang muncul akibat adanya peningkatan kebutuhan air bersih bagi masyarakat adalah kuantitas air baku yang tinggi mengakibatkan terambilnya air tanah semakin besar. Sehingga mengakibatkan muka air tanah mengalami penurunan, yang menyebabkan intrusi air laut ke dalam air tanah. Selain permasalahan air permasalahan yang muncul untuk pengolahan air ini adalah ketersediaan lahan yang masih sedikit dan harga lahan yang besar. Sehingga adanya pengolahan air untuk daerah tersebut masih minim. Untuk mengatasi permasalahan mengenai pengolahan air tanah dangkal tersebut maka digunakan sistem pengolahan air minum dengan menggunakan *slow sand filter* (SSF) dengan menggunakan *lampu light-emitting diode* (LED).

SSF atau saringan pasir lambat adalah proses pengolahan secara biologis, yang dilakukan tanpa adanya koagulasi pada *pre-treatment*. proses pembentukan lapisan biofilm/*schmutzdeke* berada di bagian atas berukuran 20 mm. optimasi dari pengolahan SSF tergantung pada performa pembentukan *schmutzdecke* yang baik. (stanfield, dkk, 2003). *Slow sand filter* memiliki umur operasi yang lebih lama, yaitu berkisar antara 45-60 hari. Dengan kecepatan filter, media saring dan kualitas air baku yang sesuai maka SSF mampu menghasilkan *effluent* dengan nilai kekeruhan yang rendah serta mampu mengurangi bakteri secara efektif.

SSF bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifer, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian secara efektif dalam pengolahan air minum. Efektifitas *schmutzdecke* ini tergantung pada makanan yang tersedia (bahan organik pada air baku), kandungan oksigen serta suhu air yang cukup. Dalam pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu cahaya matahari, suhu, pH. Cahaya matahari berperan mempercepat perkembangan mikroorganisme sehingga terbentuknya *schmutzdecke*.

Penggunaan cahaya matahari dapat dilakukan jika proses slow sand filter berada di daerah yang luas dan selalu terkena paparan matahari. namun mengingat semakin tingginya harga lahan di kota-kota besar, pengolahan air tidak dapat banyak dilakukan. Sehingga diterapkannya pengolahan air menggunakan *unit rapid slow sand filter* karena lahan yang dibutuhkan tidak banyak walaupun dengan efektifitas penurunan tidak sebaik *slow sand filter* dan masih memakai zat kimia dalam prosesnya. Oleh karena itu penggunaan lampu LED pada *slow sand filter* dapat meminimalisasi penggunaan lahan dikarenakan dapat digunakan secara bertingkat dan dapat dilakukan dalam bangunan (ruang tertutup). Sehingga dapat dihasilkan kualitas air dengan kualitas lebih baik dari penggunaan *rapid sand filter* dan tanpa dengan penambahan koagulan, serta pemilihan lampu LED dikarenakan lampu LED tidak mengandung merkuri yang merupakan logam berat.

Lampu LED yang digunakan adalah jenis *cool white* LED dengan kombinasi LED berwarna biru dan merah karena terdiri dari material *Zinc selenide* (ZnSe) dan *Indium gallium nitride* (InGaN) dengan panjang gelombang 440-470 nm. Pemilihan kombinasi LED berwarna biru karena warna biru berperan cukup baik untuk pertumbuhan protozoa dikarenakan panjang gelombang pada cahaya matahari yang cocok untuk proses fotosintesis, yaitu 470-500 nm (Dwidjoseputro, 1989).

Penelitian ini menggunakan 2 variabel yaitu variasi flow rate (0,1; 0,2; 0,3 m³/m².jam) dan variasi warna lampu LED

yaitu LED berwarna biru dan merah. Variasi kecepatan aliran (*flow rate*) digunakan untuk mengkaji kecepatan pengaliran yang optimum bagi bakteri *schmutzdecke* agar dapat tumbuh optimal dalam menguraikan zat pencemar.

Sedangkan variasi warna lampu LED dimaksudkan untuk mengkaji kemampuan warna dari lampu LED dalam pembentukan *schmutzdecke*. Serta dalam unit SSF digunakan *geotextile*, penggunaan geotekstil cukup efektif untuk mengolah air secara biologis, dikarenakan mikroorganisme dapat hidup dengan cara menempel pada lapisan geotekstile. Hal ini terjadi karena geotekstil memiliki struktur permukaan dan pori-pori yang menyerupai permukaan saringan pasir. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan lampu LED terhadap pembentukan *schmutzdecke* dilakukan pengukuran kualitas *effluent*.

1.2 Perumusan Masalah

Pemasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana efisiensi penurunan nilai kekeruhan, zat organik, dan total *coliform* dengan penggunaan lampu LED biru dan merah pada proses *slow sand filter*?
2. Bagaimana kontribusi penggunaan lampu LED biru merah dan biru didalam SSF pada efisiensi penurunan kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*?
3. Bagaimana variasi yang paling optimal dalam pengoperasian *slow sand filter* dengan menggunakan lampu LED biru dan merah terhadap nilai kekeruhan, kandungan zat organik, dan total coliform?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini antara lain:

1. Menentukan efisiensi penurunan kekeruhan, total *coliform*, zat organik yang dihasilkan dari pengoperasian SSF dengan menggunakan lampu LED biru dan Merah

2. Menentukan kontribusi dari penggunaan LED biru dan merah dalam efisiensi penurunan kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*.
3. Menentukan pengoperasian SSF paling optimal berdasarkan variasi laju filtrasi pada reaktor SSF dengan lampu LED biru dan merah terhadap parameter nilai kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menyampaikan informasi ilmiah mengenai penggunaan lampu LED biru dan LED merah yang dapat digunakan sebagai matahari buatan dalam kinerja *slow sand filter*
2. Memberikan rekomendasi desain pengolahan SSF menggunakan lampu LED sehingga dapat didesain bertingkat dan lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS
2. Air baku yang dianalisis menggunakan air sumur umum Kelurahan Mulyorejo Kecamatan Mulyorejo Surabaya
3. Metode penelitian menggunakan prinsip filtrasi yaitu *slow sand filter* dengan menggunakan aliran *downflow*
4. Indikator yang digunakan untuk penelitian ini adalah kekeruhan, zat organik dan total *coliform*. Metode yang digunakan untuk parameter kekeruhan adalah dengan metode turbidimetri, parameter zat organik menggunakan metode uji nilai permanganat, Parameter total coli menggunakan metode *most portable number* (MPN) (APHA, 2005).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian ini akan dilakukan uji kinerja efisiensi pada proses *slow sand filter* (SSF) dengan menggunakan matahari buatan yaitu lampu LED berwarna biru 3 watt dan lampu LED berwarna merah 3 watt. Pada penelitian ini proses pengujian efisiensi dari kinerja *slow sand filter*, yaitu dilihat pada pembentukan *schmutzdecke* dilakukan dengan menggunakan *geotextile*, dan dengan variasi perbedaan kecepatan aliran yaitu 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m², jam dan 0,3 m³/m².jam dan variasi jarak lampu 20 cm. Penelitian menggunakan air baku yang berasal dari air sumur. Metode yang digunakan adalah metode filtrasi dengan aliran *downflow*. Untuk mengetahui keberhasilan penelitian ini digunakan parameter kekeruhan, zat organik, total coli.

2.1 Kualitas Air

Berdasarkan Pasal 8 Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, air dikelompokkan menjadi 4 kelas yaitu:

- a. 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.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air

untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

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

Klasifikasi mutu air dilakukan melalui pendekatan untuk menetapkan kriteria mutu air dari tiap kelas, yang akan menjadi dasar dalam penetapan baku mutu air.

2.2 Pengertian Air Minum dan Parameter dalam Air Minum

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan. (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum).

Parameter kualitas air minum terdiri dari:

1. Parameter Fisika

Parameter fisika adalah parameter yang dapat diketahui dari identifikasi sifat fisik air. Berikut adalah kadar maksimum berbagai jenis parameter fisik yang diperbolehkan terdapat dalam air minum tercantum pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Parameter Fisika dalam Air minum

Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
Bau		Tidak berbau
Warna	TCU	15
Total zat padat terlarut (TDS)	Mg/L	500
Kekeruhan	NTU	5
Rasa		Tidak berassa
Suhu	°C	Suhu udara \pm 3

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/ PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

2. Parameter Kimiawi dalam Air Minum

Parameter Kimia dalam parameter wajib kualitas air minum tercantum pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Parameter Kimia dalam Air Minum

Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
Alumunium	mg/L	0,2
Besi	mg/L	0,3
Kesadahan	mg/L	500
Khlorida	mg/L	250
Mangan	mg/L	0,4
pH		6,5 – 8,5
Seng	mg/L	3
Sulfat	mg/L	250
Tembaga	mg/L	2
Amoni	mg/L	1,5

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum

3. Parameter Mikrobiologis dalam Air Minum

Parameter mikrobiologi yang digunakan dengan menalisis total *coliform* yang terdiri dari bakteri *E.coli* pada air baku yang digunakan. Penentuan parameter biologi dimaksudkan untuk mencegah adanya organisme patogen di dalam air minum tercantum pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Parameter Mikrobiologis dalam Air Minum

Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
a. Air Minum <i>E. Coli</i> atau Fecal coli	Jumlah per 100 mL sampel	0
b. Air yang masuk sistem distribusi <i>E. Coli</i> atau Fecal coli	Jumlah per 100 mL sampel	0
Total Bakteri <i>Coliform</i>	Jumlah per 100 mL sampel	0
c. Air pada sistem distribusi <i>E. Coli</i> atau Fecal coli	Jumlah per 100 mL sampel	0
Total Bakteri <i>Coliform</i>	Jumlah per 100 mL sampel	0

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Air Minum

2.3 Filtrasi

Filtrasi adalah proses pemisahan padatan dan larutan, dimana larutan tersebut dilewatkan melalui suatu media berpori atau materi berpori lainnya untuk menyisihkan partikel tersuspensi yang sangat halus sebanyak mungkin. Proses ini digunakan pada instalasi pengolahan air minum untuk

menyaring air yang telah dikoagulasi dan diendapkan untuk menghasilkan air minum dengan kualitas yang baik.

Filtrasi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis filter, antara lain: saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, bahkan dengan menggunakan teknologi membran. Pada pengolahan air minum umumnya dipergunakan saringan pasir cepat, karena filter jenis ini memiliki debit pengolahan yang cukup besar, penggunaan lahan yang tidak terlalu besar, biaya operasi dan pemeliharaan yang cukup rendah, dan tentunya kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaan.

Menurut Al-Layla,dkk (1978), mekanisme yang dilalui pada filtrasi:

1. *Mechanical Straining*
Mechanical Straining merupakan sebuah proses penyaringan partikel yang lebih besar dari porositas media. Proses ini terjadi pada permukaan filter.
2. Sedimentasi
Sedimentasi merupakan proses yang terjadi akibat adanya pengendapan partikel tersuspensi yang lebih halus ukurannya daripada lubang pori pada permukaan butiran.
3. Adsorpsi
Adsorpsi yaitu ketika terjadi proses adsorpsi partikel koloid yang bermuatan positif oleh media pasir kwarsa yang bermuatan negatif. Proses ini dapat menghilangkan partikel koloid yang berasal dari bahan-bahan organik maupun non-organik yang tidak terendapkan.
4. Aktivitas Kimia
Aktivitas kimia terjadi karena adanya reaksi beberapa senyawa kimia dengan oksigen ataupun dengan bikarbonat.
5. Aktivitas Biologis
Aktivitas biologis tergantung pada keberadaan zat-zat organik dalam air baku. Zat-zat organik yang tertahan

pada filter, menjadi nutrisi bagi mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme ini dapat menghilangkan bau, rasa dan mikroorganisme patogen.

Jenis-jenis filter:

a. Filter pasir lambat (*Slow sand filter*)

Merupakan proses penyaringan partikel yang dilakukan tidak melalui proses kimiawi (koagulasi). Laju alir dalam media pasir ini kecil dikarenakan ukuran pasir yang kecil.

b. Filter pasir cepat (*Rapid sand filter*)

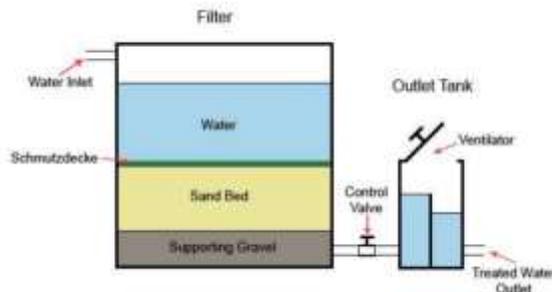
Merupakan proses penyaringan partikel yang didahului oleh proses kimiawi (koagulasi). Media pasir pada filter ini lebih besar sehingga laju alir semakin cepat. Filter ini digunakan pada proses penyaringan yang tidak dapat terendapkan pada bak sedimentasi.

2.4 Unit Slow Sand Filter

Slow sand filter atau filter pasir lambat mempunyai kecepatan filtrasi 0,1 hingga 0,4 m³/m².jam, kecepatan filtrasi cenderung lambat dikarenakan ukuran media pasir lebih kecil (*effective size* = 0,15 - 0,35 mm).

Slow sand filter dapat bekerja selama beberapa minggu bahkan beberapa bulan tanpa adanya pembersihan. Padatan tersuspensi dan materi koloid disimpan pada bagian atas filter, hal itu akan menyebabkan dapat dihilangkan dengan gesekan dari lapisan permukaan hingga kedalaman 1-2 cm.

Menurut Zheng&Dunets (2012), komponen utama dari sebuah *slow sand filter* yaitu:



Gambar 2.1 Komponen yang terdapat pada *slow sand filter*

(Sumber: Dr. Youbin Zheng and Siobhan Dunets, 2012.
Tentang slow sand filter)

- Lapisan air yaitu menyediakan pusat tekanan hidrolis untuk menekan air melalui saringan pasir di bawah. Untuk mencegah *schmutzdecke* agar tidak terkena fluktuasi dari suhu dan kelembaban, kedalaman lapisan air yang digunakan sekitar 0,9m (steward-wade, 2011).
- *Schmutzdecke*, lapisan ini adalah sebuah *biofilm* yang tersusun dari mikroorganisme (serta bahan organik dan anorganik lainnya) yang berkembang menuju permukaan pasir dari waktu ke waktu, kedalaman *schmutzdecke* sekitar 40 cm (Wohanka, 1995). *Schmutzdecke* adalah sumber utama dari kontrol patogen biologis dalam saringan pasir. Organisme yang membentuk lapisan ini mencakup jamur, bakteri, nematode, protozoa, dll (steward-wade, 2011).
- Lapisan Pasir yaitu media yang disediakan untuk terbentuknya *schmutzdecke* dan komunitas mikroorganisme umumnya tumbuh, serta menyediakan

physical filtration. Tekstur dari lapisan pasir mempengaruhi porositas dan terbentuknya biofilm. Disarankan butiran pasir berdiameter sekitar 0,3 mm untuk memaksimalkan luas permukaan (fisher, 2011). Kedalaman media minimal 80 cm (stewart-wade, 2011).

- Kerikil pendukung, lapisan ini memungkinkan air untuk bebas mengalir dari media pasir sementara mencegah pasir mengalir menuju tangka *outlet*. Lapisan ini sekitar 0,155 dan terdiri dari kerikil atau material lainnya yang akan memungkinkan aliran bebas. Kerikil yang baik berukuran (2-5 mm) sampai (7-15 mm); baik dicampur bersamaan ayai berada di lapisan terpisah (van os, 1999).
- Katup kontrol yaitu sebuah sistem katup kontrol yang memungkinkan pengaturan laju aliran dan penyesuaian kedalaman lapisan air diatas media pasir.
- Tangki *outlet* berfungsi untuk mencegah lapisan air di filter melewati bagian bawah media pasir untuk mempertahankan kedalaman air minimum dalam filter. Ventilasi dari tangka memungkinkan adanya penyerapan oksigen dan pelepasan gas lain sebelum air disaring mengalir.

Slow sand filter bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di bagian atas pasir halus yang disebut lapisan *hypogeal* atau *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air minum. Selama air melewati *schmutzdecke* partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi. Kemudian partikel akan diserap dan dicerna oleh bakteri, fungi dan protozoa.

Proses yang terjadi dalam *schmutzdecke* sangat kompleks dan bervariasi, tetapi hal utama adalah proses penyaringan terhadap kebanyakan bahan tersuspensi dalam lapisan tipis yang berpori-pori sangat kecil, kurang dari satu

mikron. ketebalan lapisan ini meningkat berdasarkan waktu yaitu hingga mencapai 25 mm, yang menyebabkan aliran mengecil. Ketika kecepatan filtrasi turun sampai tingkat tertentu, filter harus dicuci dengan mengambil lapisan pasir atas setebal sekitar 25 mm.

Menurut Huisman & Wood (1974), keuntungan dari *slow sand filter*:

1. Kualitas air olahan mengalami perbaikan dalam fisik, kimia, dan kualitas biologi dari air permukaan yang dilakukan filtrasi biologi. Air yang diolah tidak mengandung bahan kimia, sehingga menghindari masalah bau dan rasa yang mengganggu.
2. Konstruksi yang murah dan mudah, *slow sand filter* dapat menggunakan peralatan yang sederhana dan mudah untuk pembuatan konstruksinya.
3. Operasional yang murah dan mudah, operasional yang dilakukan adalah membersihkan *filter-beds* yang dapat dilakukan secara mekanik ataupun manual.
4. konservasi air, filter biologi mempunyai keuntungan tambahan yaitu tidak memerlukan pembersihan secara regular untuk membuang air setelah pengurasan.
5. pembuangan dari limbah, pada *slow sand filter* penyimpanan lumpur, *dewatering* dan pembuangan lebih mudah dengan mekanikal filtrasi. Terlebih ketika filtrasi tersebut mengandung bahan koagulan.

Menurut Schulz & okun (1984), kriteria desain untuk slow sand filter

- Kecepatan filtrasi 0,1-0,4 m³/m².jam
- Kedalaman atau tebal media yaitu 30 cm, kerikil 90-110 cm untuk pasir (50-80 cm untuk pencucian)
- Ukuran pasir 0,25-0,3 mm *effective size*

- Headloss berkisar 6 cm saat awal operasi hingga 120 cm saat akhir
- Lama filter beroperasi 20-60 hari
- Tidak diperlukan pengolahan pendahuluan jika kekeruhan kurang dari 50 NTU

2.4.1 Mekanisme Proses Filtrasi pada Unit *Slow Sand Filter*

SSF bekerja dengan cara pembentukan lapisan *biofilm* di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *schmutzdecke*. Pada unit *slow sand filter* keefektifan pengolahannya didukung dengan adanya proses biologi akibat adanya populasi bakteri yang terdapat pada lapisan *schmutzdecke* yang berada diatas media pasir sehingga berpotensi mengurangi konsentrasi zat organik melalui mekanisme bioadsorpsi (Eighthy *et al.*, 1992).

Menurut Astari & Rafiq (2008), Rekomendasi kriteria air untuk air baku yang diolah dengan *slow sand filter* tanpa menggunakan pengolahan pendahuluan, yaitu:

1. Kekeruhannya rendah, kurang dari 50 NTU
2. Air baku tidak mengandung algae dan konsentrasi klorofil maksimum 0,05 µg/L
3. Air baku tidak mengandung logam berat
4. Air baku tidak mengandung pestisida kecuali digunakan media *slow sand filter* karbon aktif

Jika air baku tidak terlalu keruh dan algae tidak terlalu banyak, maka unit *slow sand filter* dapat dioperasionalkan selama 6 bulan. Pada unit *slow sand filter* dengan menggunakan debit yang cukup besar akan menyebabkan efisiensi dalam penurunan kandungan kontaminan akan lebih rendah dibandingkan dengan pengoperasian menggunakan data yang lebih kecil. (Hadi, 2012)

Biasanya saringan pasir lambat hanya terdiri dari sebuah bak yang terbuat dari beton, ferosemen, bata semen atau bak *fiber glass* untuk menampung air dan media penyaring pasir. Bak ini dilengkapi dengan sistem saluran bawah, *inlet*,

outlet dan peralatan kontrol. Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Proses ini secara umum terdiri atas:

- a. Unit proses, yaitu bangunan penyadap, bak penampung, saringan pasir lambat, bak penampung air bersih.
- b. Unit pengolahan air dengan saringan pasir lambat merupakan suatu paket. Air baku yang digunakan yakni air sungai yang tingkat kekeruhannya tidak terlalu tinggi. Jika tingkat kekeruhan air bakunya cukup tinggi misalnya pada waktu musim hujan. maka, untuk beban saringan pasir lambat tidak telalu besar, perlu dilengkapi dengan peralatan pengolahan pendahuluan misalnya bak pengendapan awal dengan atau tanpa koagulasi bahan dengan bahan kimia (Mahdi, 2011).

2.4.2 Proses Pembentukan Lapisan *Schmutzdecke*

Schmutzdecke merupakan biofilm yang terbentuk dalam media filter di unit *slow sand filter*. Lapisan *schmutzdecke* merupakan lapisan cokelat kemerah-merahan yang agak berlendir. Lapisan *schmutzdecke* akan menurunkan zat-zat pencemar yang ada pada air baku seperti zat organik, besi, dan mangan.

Pembentukan lapisan *schmutzdecke* memerlukan waktu 2-3 minggu, serta dibutuhkan suhu dan kandungan biologis (bakteri dan bahan organik) pada air baku. Pada lapisan *schmutzdecke* ini terdapat biomassa, yang berfungsi untuk menghilangkan mikroorganisme patogen, virus, dan mendegradasi zat organik. (Rahmayanti, 2012) efektivitas *schmutzdecke* ini bergantung pada makanan yang tersedia (bahan organik pada air baku), kandungan oksigen serta suhu air yang cukup.

Pertumbuhan biomassa biofilm memiliki peranan penting dalam mendegradasi partikel pengganggu dengan mekanisme adsorpsi. Biomassa pada lapisan *schmutzdecke*

dapat menyisihkan zat organik dalam air dan mempengaruhi metabolisme pertumbuhan mikroorganisme pada unit *slow sand filter* (Eighmy *et al.*, 1992)

2.4.3 Downflow Slow Sand Filter

Unit *slow sand filter* mengalir berdasarkan gravitasi melalui lapisan pasir halus dengan kecepatan rendah. Pasir halus digunakan sebagai filter dengan *filtration rate* yang rendah untuk menurunkan kekeruhan dengan proses fisik atau biologi (Ainsworth,1997).

Teknologi *slow sand filter* yang banyak diterapkan di Indonesia biasanya adalah saringan pasir lambat konvensional dengan arah aliran dari atas ke bawah (*downflow*). Aliran *downflow* merupakan arah aliran yang memiliki titik *inlet* di bagian atas dan *outlet* dibagian bawah pada suatu reaktor.

Kelebihan yang dimiliki dalam penggunaan aliran *downflow* pada proses pengolahan air, misalnya saja dalam proses penyisihan kontaminan pada *downflow slow sand filter* bertujuan untuk mempermudah dalam mengolah air secara sederhana dengan harga yang terjangkau. Keefektifan unit *slow sand filter* dengan aliran *downflow* ini tergantung pada ketebalan media pasir yang digunakan dan kecepatan filtrasi.

2.4.4 Spesifikasi Slow Sand Filter

Pada perencanaan unit SSF digunakan kriteria desain. Menurut Casey (1977) dan Al-Layla (1977) dalam Rahmayanti (2012) terdapat beberapa kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan unit SSF, kriteria desain dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kriteria desain unit *slow sand filter*

Parameter	Keterangan
Laju filtrasi (m ³ /m ² .jam)	0,1-0,4
Kedalaman pasir (m)	0,6-1,2 m *
	1,0-1,5 m **
Ukuran efektif pasir (mm)	0,15 – 0,3 mm *
	0,25 – 0,35 mm **
Koefisien keseragaman pasir	< 3 *
	2-3 **
Distribusi ukuran butiran	Tidak terstratifikasi *
Batas kehilangan tekanan (m)	Kedalaman air pada filter *
	0,9-1,6 m **
Filter run (jarak waktu pencucian)	20-60 hari
Metode Pembersihan	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya***
Pengolahan Pendahuluan	Tidak ada, bila kekeruhan kurang dari 50 NTU***

Sumber : * T.J Casey, (1977) *Unit Treatment Processes in Water and Wastewater Engineering*

** Al-Layla, (1977) *Water Supply Engineering*

*** Schulz dan Okun, (1984) *Surface water Treatment for Communities in Developing Countries*

2.5 Hidrolika Filtrasi dan *Headloss*

Prinsipnya aliran pada media berbutir (filter pasir) dianggap sebagai aliran dalam pipa berjumlah banyak, kehilangan tekanan dalam pipa akibat gesekan aliran. Berikut persamaan Carman-Kozeny yang menghitung mengenai *headloss* dalam media berbutir (masduqi, 2012):

$$h_L = f \frac{L}{\psi \cdot d} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{q^2}{g} \quad (2.1)$$

$$f = 150 \left(\frac{1-\varepsilon}{N_{Re}} \right) + 1,75 \quad (2.2)$$

$$N_{Re} = \frac{\psi \cdot d \cdot V_a}{\nu} = \frac{\psi \cdot \rho \cdot d \cdot V_a}{\mu} \quad (2.3)$$

Dimana:

h_L = Headloss (cm)

L = Tebal media pasir

V_a = Kecepatan filtrasi ($m^3/m^2 \cdot jam$)

ψ = Faktor bentuk pasir (0,82)

d = Diameter pasir rata-rata

ε = Porositas media pasir (0,45)

N_{re} = Reynold number

f' = Fungsi N_{re}

ρ = Berat jenis

μ = Viskositas kinematis

ν = Viskositas dinamis

g = Kecepatan filtrasi (981 cm/s^2)

Headloss untuk filter dengan satu ukuran media menggunakan persamaan rose yaitu:

$$h_L = 1,067 \frac{C_D \cdot L \cdot V_a^2}{\psi \cdot d \cdot \varepsilon^4 \cdot g} \quad (2.4)$$

Untuk nilai koefisien drag untuk $N_{re} < 1$:

$$C_D = \frac{24}{N_{re}} \quad (2.5)$$

Untuk $1 < N_{re} < 10^4$ nilai koefisien drag sebagai berikut:

$$C_D = \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34 \quad (2.6)$$

Untuk menghitung diameter pasir rata-rata (Rich, 1974):

$$(DP)_g = (D_{P1} \times D_{P2})^{1/2} \quad (2.7)$$

Dimana:

$(DP)_g$ = Diameter rata-rata

D_{P1} = Diameter saringan ke-1

D_{P2} = Diameter saringan ke-2

2.6 Karakteristik Media Geotekstil

Geotekstil adalah membran sintesis yang terbuat dari beberapa senyawa polimer. Membran geotekstil merupakan membran dengan karakteristik berpori yang baik digunakan untuk proses filtrasi (Huisman & wood, 1974). Yang penambahan geotekstil sebagai media filter dapat meningkatkan kinerja *slow sand filter* (Rizki dkk, 2013). Melalui penambahan geotekstil sebagai media filter, maka proses *scrapping* dapat dioptimasi. Pada saat *clogging*, pembersihan cukup dilakukan dengan mencuci media geotekstil dan menggunakannya kembali setelah dibersihkan.

Menurut Kotha (2001), geotekstil memiliki 2 kategori yaitu:

- Geotekstil woven, geotekstile woven secara umum dapat di kategorikan sebagai filamen. Geotekstil woven terbuat dari *mono-filaments*, *multi-filaments*, atau *slit films*.
- Geotekstil non-woven, yaitu geotekstil yang terbuat dari serat kapas atau filamen-filamen yang terbentuk secara terus menerus. (Veldhuijzen, 1986)

2.6.1 Pembentukan *Biofilm* pada Media *Geotextile*

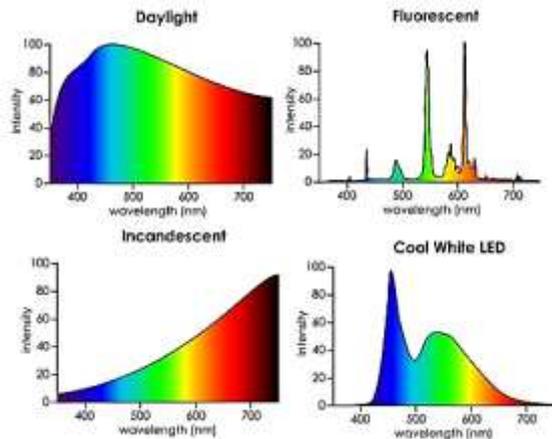
Pembentukan biofilm pada unit pengolahan ini dapat menstabilkan sistem pengoperasian unit pengolahan. Menurut Yaman (2003), lapisan biofilm dapat tumbuh dengan pesat karena disebabkan suplai air yang kontinyu sehingga menyebabkan lapisan biofilm semakin tebal. Jika lapisan ini terlalu tebal dapat menyebabkan tersumbatnya pori-pori pada media dan meningkatkan produk dekomposisi. Selain itu, semakin tebalnya lapisan biofilm menyebabkan luas permukaan yang tersedia untuk *transfer massa* seperti substrat atau oksigen ke dalam biofilm semakin berkurang.

Adanya biofilm dapat mengurangi biaya unit operasional pengolahan, reaktor yang digunakan memiliki ukuran relatif kecil, pengoperasian unit dilakukan secara sederhana. biofilm terbentuk dari mikroba yaitu bakteri heterofilik dan bakteri nitrifikasi autotrofik sehingga bakteri akan bersaing untuk mendapatkan oksigen (Alimahmoodi, dkk., 2012)

2.7 Lampu *Light-Emitting Diode* (LED)

Light-emitting diode (LED) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik atau bisa diartikan sebagai *diode* yang memancarkan cahaya bila dialurkan arus listrik (kurniawati, 2010). Menurut Lingga (2011), cahaya berperan utama dalam proses fotosintesis melalui fitokrom. Fungsi fitokrom adalah penerima cahaya yang paling efektif dalam mengendalikan proses morfogenesis tanaman dibandingkan dengan yang lain. Fitokrom ini dapat mendeteksi gelombang cahaya dari 300-800 nm dengan sensitivitas maksimum.

Penggunaan lampu LED dikarenakan terdiri dari beberapa material seperti biru/UV *diode* dengan fosfor kuning yang memiliki spectrum (panjang gelombang) yang luas terlihat pada Gambar 2.2 menunjukkan masing-masing perbedaan dari berbagai spectrum yang dihasilkan dari berbagai jenis lampu LED, spectrum tersebut kemudian dibandingkan dengan warna spectrum yang terdapat pada matahari.



Gambar 2.2 Spektrum cahaya dari berbagai sinar

(Sumber: Wibawa, 2016. *Dalam Pengaruh Pengaturan Daya Pada Lampu LED Komersil Terhadap Kualitas Cahaya Yang Dihasilkan*)

Menurut kurniawati (2008), Kelebihan penggunaan LED yaitu:

1. Efisiensi yang tinggi, energi yang digunakan oleh LED sekitar 1/10 dari lampu bohlam dan ½ dari lampu neon. Sehingga lampu LED lebih hemat energi.
2. Memancarkan berbagai variasi warna, tanpa harus menggunakan filter warna yang biasa digunakan lampu biasa. LED memancarkan cahaya secara khusus sehingga kualitas warna monokromatik yang dipancarkan lebih tinggi.
3. Tidak mengandung gas beracun, LED tidak mengandung bahan beracun seperti merkuri yang terdapat pada lampu neon/*fluorescent* yang dapat membahayakan jika terjadi kebocoran pada bohlam

Menurut syafriyudin (2015), penggunaan lampu LED yang mengandung spektrum warna biru dan merah dapat membantu mengoptimalkan proses fotosintesis dibandingkan dengan

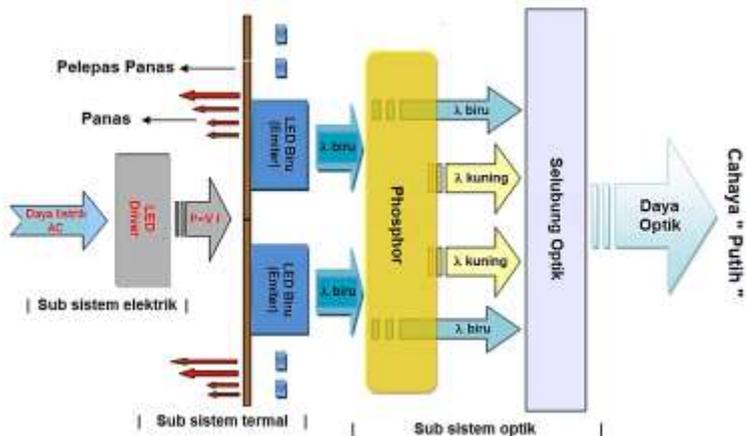
warna hijau. Berikut adalah tabel 2.5 pengaruh pertumbuhan tanaman oleh intensitas cahaya.

Tabel 2.5 pengaruh pertumbuhan tanaman oleh intensitas cahaya

Panjang gelombang (nm)		Efek pertumbuhan pada tanaman
Ultraviolet (UV)	280	Secara signifikan dapat mengurangi laju fotosintesis
	315-400	Meningkatkan pigmentasi, daun tanaman ketebalan, dan dapat digunakan untuk mencegah serangga berbahaya.
Visible Spectrum	440-470	Klorofil absorpsi yang tertinggi pada 439 nm dan 469 nm. spektrum biru adalah spektrum paling diserap secara efisien, meningkatkan pertumbuhan terutama vegetatif.
	510	penyerapan kuantum dalam spektrum hijau. sedikit adalah spektrum kuning.
	610	Tidak ada klorofil manfaat. efisien diserap oleh ganggang phycoerythrin dan reseptor phycocyanin.
	640-660	klorofil absorpsi puncak pada 642 nm dan 667 nm. 660nm adalah panjang gelombang yang paling penting untuk berbunga. mempercepat perkecambahan biji bunga / tidur onset.
	740	emerson tambahan efek - hasil kuantum dari warna <i>red light</i> . ketika sepatu secara bersamaan pada tanaman, meningkatkan laju fotosintesis
Infrared	1000-1400	Tidak ada aktivitas tanaman pada panjang gelombang ini. Panas yang dihasilkan

Sumber: <http://www.mastergrowled.com>

Intensitas cahaya (I) adalah arus cahaya dalam lumen yang diemisikan setiap sudut ruangan (pada arah tertentu) oleh sebuah sumber cahaya (Mismail, 1987 dalam Fajri dkk, 2015).



Gambar 2.3 Pembentukan cahaya putih pada lampu LED

(Sumber: Tsao, 2002 dalam Wibawa, 2016. *Dalam Pengaruh Pengaturan Daya Pada Lampu LED Komersil Terhadap Kualitas Cahaya Yang Dihasilkan*)

Secara garis besar phosphor mengabsorpsi sebagian cahaya dari emitter (LED biru) kemudian mengkonversinya menjadi panjang-gelombang yang lebih panjang dan mengemisikan kembali menjadi cahaya kuning. Perpaduan antara cahaya biru dan cahaya kuning menghasilkan cahaya dengan pita-lebar (broadband) yang tampak sebagai cahaya putih, diperlihatkan pada Gambar 2.3 (Tsao, 2002 dalam Wibawa, 2016). Pengaturan daya lampu bertujuan untuk mengatur intensitas cahaya yang dihasilkan.

Penggunaan phosphor pada lampu LED tersebut menyebabkan adanya kandungan sinar *ultra-violet* (UV) dalam jumlah kecil. Namun sinar uv tersebut tidak dapat digunakan sebagai desinfeksi, hal ini disebabkan dalam desinfeksi yang

dibutuhkan sinar UV dengan panjang gelombang 100-400 nm (254 nm yang paling efektif) (ummerfelt, 2003). Sehingga lampu LED tidak mengandung radiasi UV (CELMA, 2011).

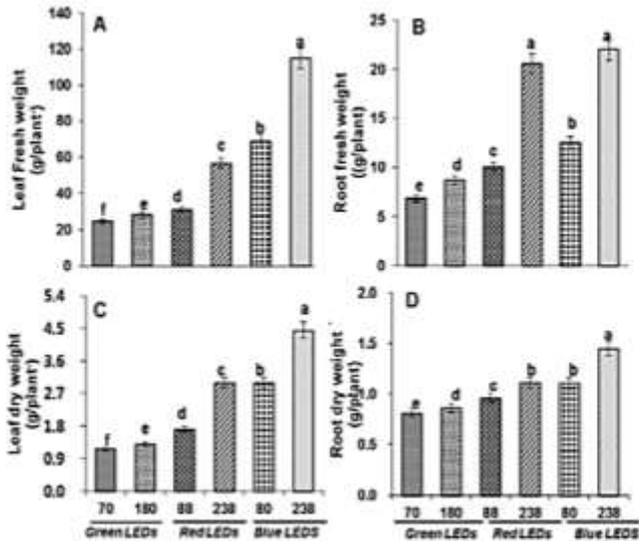
2.7.1 Penggunaan LED berwarna

Penggunaan LED berwarna pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil spektrum cahaya yang dihasilkan oleh lampu LED berwarna biru dan LED berwarna merah. Lampu LED yang dipilih berwarna dikarenakan menurut syafriyudin (2015), panjang gelombang LED berwarna merah yaitu 610 – 760 nm. Warna merah bagus untuk pertumbuhan tanaman karena klorofil menyerap cahaya ini sehingga fotosintesis berjalan optimal, fitokrom-pigmen merah menyerap cahaya merah sehingga ukuran tanaman lebih besar (tangkai daun panjang dan bentuk daun mencapai ukuran ideal).

Dan penggunaan lampu LED berwarna biru, LED biru memiliki panjang gelombang 450 – 500 nm. Lampu warna biru baik untuk pertumbuhan tanaman karena klorofil banyak menyerap cahaya biru sehingga fotosintesis berlangsung optimal (syafriyudin, 2015). Cahaya biru (400 hingga 500 nm), Klorofil dalam tanaman sangat menyerap cahaya biru yang digunakan untuk fotosintesis. Hal ini juga membantu mengatur pembukaan stomata, stomata yaitu bagian tanaman yang kecil bukaan di daun yang mengatur mekanisme dalam secara karbon dioksida (yang dibutuhkan untuk fotosintesis) dan kehilangan air.

Cahaya biru juga umumnya bertindak untuk menghambat pertumbuhan ekstensi, jadi tanaman tumbuh di bawah cahaya yang berisi biru biasanya memiliki lebih kecil daun dan batang yang lebih pendek. disebabkan alasan ini , banyak aplikasi memancarkan led untuk tanaman minimal satu jumlah kecil (seperti 10-20 persen) dari cahaya biru. Dalam sebuah lingkungan dalam ruangan, tanaman tumbuh tanpa ada cahaya biru biasanya memiliki bentuk yang memanjang (runkle, 2015).

Gambar 2.4 Pengaruh warna lampu LED pada tumbuhan



(sumber: Muneer, 2014. Influence of Green, Red and Blue Light Emitting Diodes on Multiprotein Complex Proteins and Photosynthetic Activity under Different Light Intensities in Lettuce Leaves (*Lactuca sativa* L.))

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muneer (2014), dilakukan uji coba penggunaan lampu LED berwarna hijau, merah, dan biru pada pertumbuhan tanaman. Pada percobaan yang dilakukan, LED biru pada intensitas cahaya yang tinggi meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan mengontrol integritas protein kloroplas yang mengangkat kinerja fotosintesis di lingkungan alam.

Pada lampu LED yang akan digunakan, intensitas berasal dari spesifikasi dari lampu tersebut. Intensitas cahaya dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi penggunaan lampu LED biru dan merah

Spesifikasi	LED (biru dan merah)
Watt	3 watt
Input voltage	AC 160-240 V 50-60 Hz
Luminous flux	>180 LM
Color temperature	6500K
Lifetime	30000 Hr

Sumber: spesifikasi lampu LED Hemat

2.8 Analisis Ayakan

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui set ayakan, lubang-lubang ayakan tersebut semakin kecil secara berurutan (Braja 1985, dalam Rahmayanti 2012). Ukuran ayakan dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Ukuran Ayakan Standar SNI

Alternatif Satuan	Standar Ukuran (mm)
3 inchi	75
2 inchi	50
1,5 inchi	37,5
1 inchi	25
¾ inchi	19
3/8 inchi	9,5
No. 4	4,75
No.8	2,36
No. 10	2
No. 16	1,18
No. 30	0,6
No. 40	0,425
No. 50	0,3
No. 100	0,15
No. 200	0,075

Sumber: SNI 3423,2008

Menurut Das (1995) dalam Amalia (2012), mula-mula contoh tanah dikeringkan lebih dahulu, kemudian semua gumpalan-gumpalan dipecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil lalu baru diayak pada percobaan di laboratorium. Setelah cukup waktu mengayak dengan cara getaran, masa tanah yang bertahan pada setiap ayakan ditimbang.

Dalam menganalisis tanah-tanah kohesif, barangkali relatif sukar untuk memecah gumpalan-gumpalan tanahnya menjadi partikel-partikel lepas yang berdiri sendiri. Untuk itu, tanah tersebut perlu dicampur dengan air sampai menjadi lumpur encer dan kemudian dibasuh seluruhnya melalui ayakan-ayakan tersebut. Bagian padat yang tertahan pada setiap ayakan dikumpulkan sendiri-sendiri. Kemudian masing-masing dikeringkan dalam oven dan kemudian berat tanah kering tersebut ditimbang.

2.9 Parameter dalam Unit *Slow Sand Filter*

2.9.1 Total *Coliform*

Koliform merupakan suatu grup bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya pencemaran pada air. Koliform sebagai bakteri dicirikan berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, aerobik dan anaerobik fakultatif. Bakteri koliform memfermentasikan laktosa dengan menghasilkan asam dan gas dalam waktu 48 jam pada suhu 35°C. Adanya bakteri koliform menunjukkan adanya mikroba yang bersifat enteropatogenik dan/atau toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan. (Fardiaz, 1993)

Untuk mengetahui jumlah koliform digunakan metode *Most Probable Number* (MPN). Metode MPN untuk uji kualitas mikrobiologi air dalam Analisis digunakan kelompok *coliform* sebagai indikator. Kelompok *coliform* mencakup bakteri yang bersifat aerobik dan anaerobik fakultatif, batang gram negatif dan tidak membentuk spora. (Hadjoetomo, 1993)

Dalam metode MPN digunakan medium cair, berbeda dengan metode cawan yang menggunakan medium padat (agar). Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah tabung yang

positif, yaitu yang ditumbuhi oleh mikroba setelah inkubasi pada suhu dan waktu tertentu. Pengamatan tabung positif dapat dilihat dengan timbulnya kekeruhan atau terbentuk gas dalam tabung durham (Sutedjo, dkk., 1991).

Metode MPN dilakukan dengan 3 tahap pengujian, yaitu:

1. Uji presumtif (*presumptive test*). Tahap ini merupakan uji spesifik terhadap bakteri *coliform*. Sampel air ditambahkan pada media kaldu laktosa yang dilengkapi dengan tabung durham yang diletakkan terbalik. Tabung-tabung yang berisi media dan sampel ini diinkubasi pada suhu $\pm 35^{\circ}\text{C}$ selama 24 ± 2 jam. Bakteri *coliform* mempunyai kemampuan untuk memfermentasikan laktosa dengan menghasilkan gas yang dapat dideteksi pada tabung durham. Sedangkan bakteri tinja lainnya yang tidak tergolong *coliform* tidak dapat memfermentasikan laktosa.
2. Uji konfirmasi (*confirmative test*). Langkah lanjutan ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa pembentukan gas pada tabung durham benar-benar dihasilkan oleh aktifitas bakteri koliform. Untuk itu biakan pada tabung yang memberikan hasil positif diinokulasi pada media selektif *brilliant green lactose bile broth*. Terbentuknya gas pada tabung durham menunjukkan bahwa uji konfirmasi ini positif.
3. Uji akhir (*complete test*). Uji ini dilakukan terhadap tabung yang memberikan hasil positif pada uji konfirmasi. Dengan menggunakan jarum ose, biakan pada tabung positif tersebut diinokulasi pada media *eosine methylene blue* (EMB) di cawan petri. Media EMB, yang merupakan media selektif dan differensial ini, mengandung *methylene blue* yang bersifat dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram positif.

Bakteri *E.coli* membentuk koloni yang berwarna gelap dengan kilauan metalik kehijauan. Sedangkan bakteri koliform lainnya,

misalnya *Enterobacter aerogenes* membentuk koloni yang tebal, kental, dan berwarna merah muda. Selanjutnya, koloni yang membentuk warna gelap dengan kilau metal itu diisolasi dan ditumbuhkan pada media miring *nutrient broth* agar. Lalu dilakukan uji pewarnaan gram. Apabila diperoleh bakteri berbentuk batang, gram negatif, maka hasil pengujian MPN ini adalah positif. (Trihadiningrum, 2012)

Kelemahan dari metode MPN adalah sebagai berikut menurut Suriwiria (1986 dalam Trihadiningrum 2012):

1. Sampel air yang digunakan hanya sedikit
2. Diperlukan waktu cukup lama untuk analisis
3. Membutuhkan bakteri didapatkan berdasarkan perkiraan semata
4. Membutuhkan banyak media dan peralatan
5. Tidak dapat dilakukan di lapangan

2.9.2 Zat Organik

Zat organik didalam air ditetapkan melalui angka permanganat. Kadar zat organik dalam air menentukan kualitas dari air baku, terutama penentuan tercemarnya air baku yang dapat menimbulkan bau, kekeruhan serta rasa yang tidak diinginkan.

Zat organik diidentifikasi sebagai Angka permanganat yaitu banyaknya mg/l KMnO_4 yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik yang terdapat dalam satu liter sampel air yang dididihkan selama 10 menit. Dengan adanya kandungan zat organik maupun Anorganik di dalam air berarti air tersebut sudah tercemar dan tidak aman dijadikan sumber air minum karena telah terkontaminasi rembesan dari limbah (Haitami, 2016).

2.9.3 Tingkat Kekeruhan Air

Tingkat kekeruhan air atau disebut turbiditas adalah jumlah zat/partikel yang tergenang dalam air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh zat-zat

di dalam air. Ada 3 aspek yang mempengaruhi kekeruhan air yaitu:

- Aspek fisik, dalam aspek fisik hal yang paling berperan penting adalah suhu. Semakin rendah suhu maka semakin banyak kandungan gas yang terlarut dalam air. Sehingga meningkatnya suhu air dapat menyebabkan metabolisme dan respirasi organisme air meningkat dan akan cenderung menambah kekeruhan.
- Aspek kimia, pada aspek kimia yang berpengaruh adalah kondisi mineral, tanah yang berpengaruh terhadap kondisi air. Semakin banyak zat tersuspensi dalam air maka kondisi air akan semakin keruh.
- Aspek biologi, organisme air seperti fitoplankton dan zooplankton berperan dalam perubahan tingkat kekeruhan air. Warna yang dibiaskan tergantung pada warna organisme tersebut.

Penentuan kekeruhan air menggunakan turbidimetri. Metode yang digunakan adalah metode kurva kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur kekeruhan larutan standar pada berbagai konsentrasi. Kekeruhan sampel diperoleh dari persamaan regresi larutan standar. Pengukuran kekeruhan dilakukan dengan cara menentukan %T setiap larutan yang dianalisis menggunakan Spektrometri-20 setelah dilakukan kalibrasi terhadap alat tidak perlu dilakukan untuk menentukan panjang gelombang maksimal.

Sumber cahaya berada harus memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi. Cahaya akan melewati monokromator yang berfungsi sebagai pemilih panjang gelombang. Kemudian panjang gelombang tersebut diserap oleh sampel dan terdeteksi oleh detektor sehingga bisa dilihat hasilnya pada alat pencatat (Khopkar 1990, dalam Yuniarti, 2007).

BAB 3

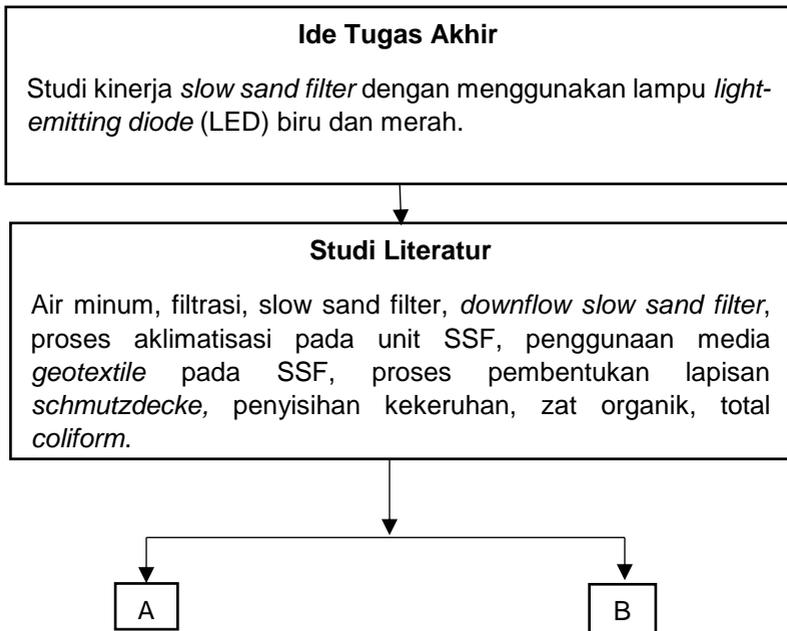
METODE PENELITIAN

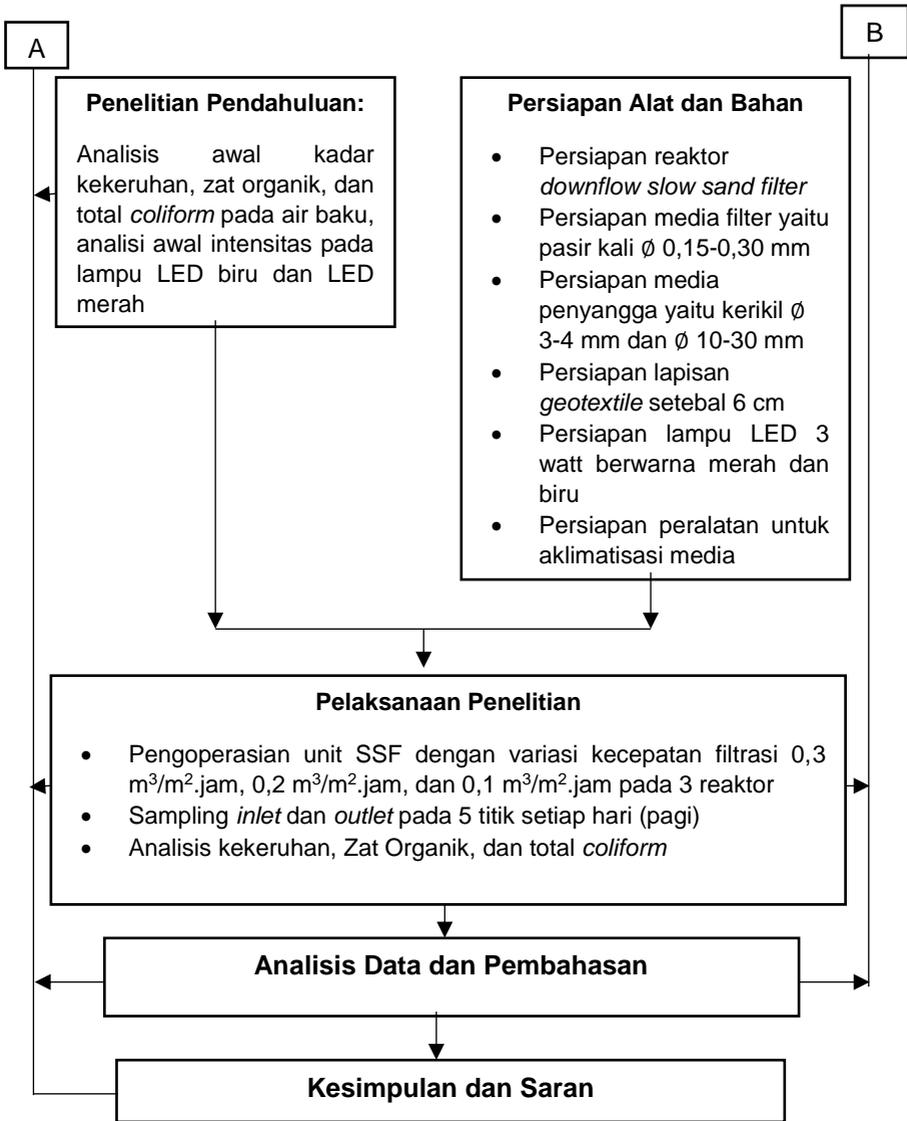
3.1 Umum

Pada penelitian ini bertujuan menentukan efisiensi dari *slow sand filter* aliran *downflow* dengan menggunakan bantuan lampu LED sebagai pengganti sinar matahari dalam mengurangi bahkan menghilangkan kandungan zat organik dan bakteri *coliform*. penelitian ini dengan bahan baku air yaitu air sumur. Dengan variasi jarak penggunaan lampu LED serta kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².jam. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kandungan total coli, Zat organik, dan kekeruhan pada *outlet* dari unit SSF. Selain itu akan dilakukan pengamatan terhadap pembentukan lapisan *schmutzdecke* yang ada pada penelitian ini.

3.2 Kerangka Penelitian

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





Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tahapan 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 dilatarbelakangi oleh kualitas air sumur di Surabaya. Air sumur ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat sekitar. Adanya kandungan zat organik dan total bakteri *coliform* menyebabkan kualitas air yang kurang baik. Oleh sebab itu untuk menghilangkan zat-zat yang tidak diinginkan dalam air minum bisa digunakan filter. Pada penelitian ini filter yang digunakan adalah *slow sand filter* yang dilengkapi dengan lampu LED. Sehingga penggunaan *slow sand filter* ini dapat meningkatkan kualitas air menjadi air bersih.

3.3.2 Studi Literatur

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 minum, air tanah, proses filtrasi, *slow sand filter* aliran *downflow*, zat organik, total *coliform*, metode MPN, dan topik lain yang sesuai dengan penelitian. Studi literatur dilakukan dari awal penelitian, penyusunan laporan hingga hasil akhir dan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.3.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan sumber air baku yang digunakan dalam pengolahan menggunakan *downflow slow sand filter*. Air baku yang dipilih adalah air sumur. Penelitian pendahuluan ini dilakukan dengan menganalisis parameter fisik, kimia, serta biologis dalam air yaitu kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*

Pada penelitian pendahuluan ini dilakukan juga analisis awal intensitas cahaya dari lampu LED biru dan LED merah. Sehingga dapat dibandingkan intensitas cahaya lampu dari masing-masing warna tersebut terhadap air yang akan digunakan.

3.3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

Reaktor *Downflow slow sand filter*



Gambar 3.2 Reaktor Downflow slow sand filter

Terdapat empat reaktor yang digunakan dalam penelitian. Dua reaktor sebagai objek penelitian yang diletakkan pada sumber air baku sumur dengan menggunakan lampu LED biru dan merah dan 2 reaktor menggunakan air baku yang sama yaitu air sumur namun dengan menggunakan sinar matahari dalam dan luar ruangan, 2 reaktor ini sebagai kontrol pada subjek yang diteliti. Pada keempat reaktor yang dioperasikan menggunakan arah aliran *downflow*.

Reaktor terbuat dari paralon agar tidak ada masuknya cahaya yang akan mengganggu proses pembentukan *schmutzdecke* oleh lampu LED dan terdiri atas media pasir dan media *geotextile*. Ketebalan media *geotextile* sebesar 6cm. kecepatan filtrasi divariasikan yaitu $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$, dan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$. Penentuan variasi kecepatan filtrasi berdasarkan kriteria desain untuk *slow sand filter* yaitu $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ – $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$. Selain dari kecepatan filtrasi, variasi warna lampu LED juga di variasikan yaitu berwarna merah dan biru.

1. Desain Reaktor

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

- Diameter = 4 inch = 10,16 cm
- Ketinggian Reaktor = 140 cm
- Jarak lampu = 20 cm
- *Freeboard* = 14 cm
- Media kerikil lapisan pertama (\varnothing 3mm- \varnothing 4mm) = 5 cm
- Media kerikil lapisan kedua (\varnothing 10mm- \varnothing 30mm) = 10 cm
- Ketebalan media pasir = 60 cm
- Ketebalan media *geotextile* = 6 cm
- Luas Reaktor = πr^2
= 3,14 \times 5,08 cm \times 5,08cm
= 81,03 cm²
= 0,0081 m²
- Volume Reaktor = $\pi \times r^2 \times$ Tinggi
= 3,14 \times 5,08 cm \times 5,08 cm \times 160 cm
= 12965 cm³
= 0,0129m³

Pada perhitungan didapatkan luas reaktor *slow sand filter* sebesar 0,0081 m². Debit yang masuk kedalam reaktor *slow sand filter* dihitung berdasarkan laju filtrasi dan luas dari reaktor. Laju filtrasi yang akan digunakan yaitu sebesar 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².jam. Debit yang masuk kedalam reaktor dapat dihitung sebagai berikut.

Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan laju filtrasi sebesar 0,1 m³/m².jam

- Q1 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor
= 0,1 m³/m².jam \times 0,0081m²

$$\begin{aligned}
&= 0,00081 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 0,81 \text{ L/jam} \\
&= 0,0135 \text{ L/ menit} \\
&= 0,225 \text{ mL/detik}
\end{aligned}$$

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

- Q2 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor

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

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

- Q3 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor

$$\begin{aligned}
&= 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\
&= 0,00243 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 2,43 \text{ L/jam} \\
&= 0,0405 \text{ L/ menit} \\
&= 0,675 \text{ mL/detik}
\end{aligned}$$

Pengoperasian *slow sand filter* membutuhkan debit sebesar $0,225 \text{ mL/detik}$ untuk laju filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, untuk laju filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dibutuhkan debit $0,45 \text{ mL/detik}$, dan untuk laju filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dibutuhkan debit sebesar $0,675 \text{ mL/detik}$. Rangkaian unit penelitian pada masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Kebutuhan Debit untuk masing-masing Kecepatan Filtrasi

Variasi	Kecepatan Filtrasi ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$)	Debit (m^3/jam)
I	0,1	0,00081
II	0,2	0,00162
III	0,3	0,00243

2. Media pasir dan kerikil

Media pasir yang digunakan merupakan jenis pasir kali yang memiliki diameter antara 0,15 mm-0,35 mm. Media pasir yang digunakan menggunakan pasir yang telah terspesifikasi berdiameter 0,15 mm dan 0,30 mm. Ketinggian media pasir yang digunakan dalam reaktor ini adalah 100 cm, perhitungan 100 cm ini di dasarkan pada kriteria desain unit *slow sand filter*.

3. Media *Geotextile*

Pada penelitian ini media *geotextile*, *geotextile* merupakan salah satu jenis material geosintetik yang digunakan sebagai pemisah, penyaring, drainase, penguatan serta dapat diaplikasikan dalam pengendalian erosi. Material ini berupa lembaran rajutan atau ikatan serat-serat atau benang yang bersifat *permeable*/menyerap air. (*international Geosynthetics Society, 2006*).

Pada penelitian ini *geotextile* yang digunakan termasuk jenis non-woven yang merupakan *geotextile* yang terbuat dari bukan anyaman yang akan dipotong berbentuk persegi dengan dimensi 11 cm x 11 cm dan memiliki tebal sebesar 0,4 cm. sehingga dibutuhkan 15 tumpuk media untuk mendapatkan tebal 6 cm.

Pemilihan ketebalan media *geotextile* setebal 6 cm berdasarkan penelitian ayuningtyas (2013), bahwa dengan ketebal 6 cm media *geotextile* lebih efisien dalam menyisihkan zat-zat pencemar dalam air baku.

4. Lampu LED

Lampu LED yang akan digunakan adalah lampu LED biru 3 watt dan lampu LED merah 3 watt dengan merek dagang LED *high power lamp*. Lampu LED yang digunakan 2 jenis, ditempatkan pada 2 reaktor. Yaitu reaktor 1 menggunakan 1 lampu LED biru dan reaktor lainnya dengan 1 lampu LED berwarna merah. Pada 2 reaktor lainnya tidak menggunakan lampu dikarenakan sebagai variabel kontrol sehingga digunakan sinar matahari dalam ruangan dan luar ruangan.

Lampu LED dilakukan analisis intensitas cahaya dengan menggunakan lux meter. Penggunaan lux meter

pada lampu LED dengan cara ditempatkan lampu LED berwarna merah atau biru pada pipa PVC dengan jarak sesuai jarak pada reaktor, yaitu 20 cm. sehingga setelah dilakukan analisis intensitas lampu pada lampu LED berwarna biru dan merah adalah sebagai berikut. Gambar analisis lux ada pada lampiran.

Tabel 3.2 Intensitas Cahaya pada Lampu LED

Jenis Lampu LED	Intensitas cahaya (lux)
Biru	122
Merah	32

Lampu LED ditempatkan pada bagian atas reaktor dan ditutup dan dilapisi, hal ini dilakukan agar reaktor tidak langsung terkena sinar matahari. lampu LED ditempatkan pada bagian atas reaktor dengan jarak 20 cm, disebabkan penelitian oleh susilowati (2015) bahwa penyinaran dengan jarak 20 cm lebih baik pada permukaan media. Gambar pemasangan lampu pada Gambar 3.3



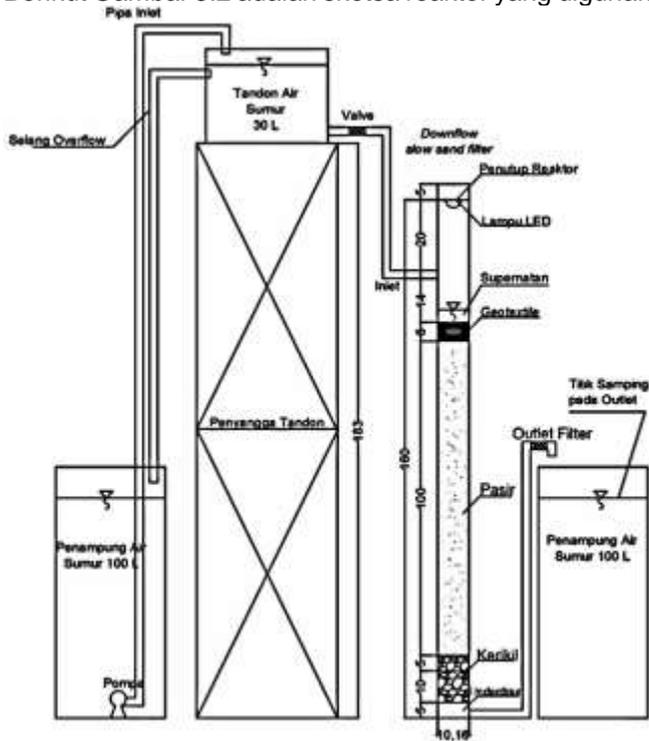
Gambar 3.3 Pemasangan Lampu pada tutup reaktor

Pemasangan lampu LED akan divariasikan intensitas lampu LED tersebut yaitu dengan variasi 1 buah lampu LED biru 3 watt pada reaktor 1 dan 1 buah lampu LED merah 3 watt pada reaktor ke 2. Penggunaan variasi jarak lampu LED dimaksudkan untuk melihat kontribusi

dari intensitas cahaya lampu LED terhadap pembentukan *schmutzdecke*.

5. Reaktor *slow sand filter*

Pada penelitian ini digunakan reaktor *slow sand filter* dengan aliran *downflow*, keempat reaktor SSF memiliki ukuran yang sama baik pada reaktor kontrol maupun pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan biru. Berikut Gambar 3.2 adalah sketsa reaktor yang digunakan:



Gambar 3.4 Sketsa Reaktor Downflow Slow Sand Filter

6. Air baku

Air baku yang akan digunakan yaitu air baku yang berasal dari air sumur. Air sumur yang digunakan berlokasi

di kelurahan mulyorejo, kecamatan mulyorejo, Surabaya. Air sumur ini biasa digunakan untuk kegiatan mck warga sekitar. Air sumur ini nantinya akan diambil setiap harinya dan ditampung terlebih dahulu pada tandon sebelum akhirnya dialirkan menuju *slow sand filter*.

7. Persiapan Aklimatisasi Media

Media filter harus diaklimatisasi terlebih dahulu sebelum penelitian dilaksanakan. Hal tersebut bertujuan agar pada media filter tumbuh lapisan *biofilm* atau lapisan *schmutzdecke* yang dapat menurunkan zat-zat pencemar yang ada dalam air baku. Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengoperasikan reaktor *slow sand filter* secara terus menerus.

8. Peralatan Pelengkap Reaktor

Reaktor *downflow slow sand filter* membutuhkan peralatan pelengkap seperti pada Gambar 3.4 merupakan sketsa *downflow slow sand filter*. peralatan tersebut meliputi ember, keran, selang dan pompa. Selang digunakan untuk menyalurkan air ke tandon dan ke filter, serta sebagai *overflow* dari tandon. Sedangkan keran untuk mengatur debit air yang akan dialirkan ke filter yang disesuaikan dengan laju kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, 0,3 m³/m².jam. Selain itu, keran yang lain digunakan untuk menampung air hasil olahan filter.

Terdapat 3 buah pompa yang digunakan dalam penelitian ini, 2 pompa digunakan pada reaktor yang berisi air baku yang berasal dari air sumur. 2 pompa lainnya digunakan pada reaktor kontrol. Pompa yang digunakan yaitu tipe penguin-2400 bermerek dagang Resun pompa air. Pompa ini memiliki daya sebesar 60w. Karena reaktor beroperasi 24 jam maka perlu digunakan pompa untuk memompakan air dari tampungan air dan air ember yang terletak diatas.

3.3.5 Pelaksanaan Penelitian

Setelah proses aklimatisasi selesai penelitian ini dilaksanakan secara kontinyu yaitu filter bekerja selama 24 jam. Pengambilan sampel air dilakukan setiap hari selama 1 minggu pada setiap laju filtrasi, pengambilan sampel yaitu pada *inlet* dan

outlet filter pada setiap reaktor. Sehingga titik sampling pada SSF terdapat 5 titik.

Sampling dilakukan pada jam yang sama setiap harinya dengan tujuan agar data yang diperoleh sama. Analisis air hasil olahan dilakukan setiap hari yaitu dari hari senin hingga minggu dan pengambilan sampel dilakukan sebanyak 1 kali dalam satu hari yaitu pada pagi hari, dilakukan pada pagi hari untuk menyamakan penyinaran dari 2 reaktor menggunakan sinar yang berasal dari lampu LED dan 1 reaktor yang menggunakan sinar matahari.

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

1. Media *Geotextile* dan pasir diaklimatisasi menggunakan air baku yang berasal dari sumber air baku yaitu air sumur. Aklimatisasi dilakukan dengan mengoperasikan reaktor *slow sand filter* setiap hari selama masa aklimatisasi (14 hari) dan air baku tersebut diganti setiap harinya. Perendaman media dalam air baku berlangsung selama 14 hari karena diperkirakan media sudah ditumbuhi oleh lapisan *biofilm*.
2. Setelah proses aklimatisasi media selesai, proses pengoperasian SSF dapat dilakukan. Media *geotextile* yang digunakan tiap lapisan memiliki ketebalan 0,4 cm sehingga dibutuhkan 15 lapis media *geotextile* untuk mencapai 6 cm. desain reaktor yaitu 6 cm media *geotextile*, 100 cm media pasir, 15 cm media penyangga, 5 cm *underdrain*, 14 cm *freeboard*, dan 10 cm *freeboard* dan 20 cm jarak lampu LED. Desain reaktor tersebut berlaku pada keempat reaktor baik untuk air sumur.
3. Pengoperasian dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan laju filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ kemudian 5 hari dengan $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$, dan 5 hari dengan laju filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$. Pengaturan kecepatan dilakukan dengan cara melakukan running selama 1 menit lalu dianalisis jumlah debit yang dihasilkan. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui laju filtrasi yang terjadi, dilakukan terus menerus hingga mendapatkan laju yang diinginkan. Pengoperasian dilakukan dengan aliran *downflow*. Pada

tahap ini dioperasikan semua reaktor baik yang menggunakan sinar matahari dan dengan reaktor yang menggunakan lampu LED. Reaktor akan bekerja secara kontinyu selama 24 jam. Pada setiap pergantian kecepatan akan dilakukan pengurusan terlebih dahulu.

4. Total titik sampling yang akan dianalisis pada penelitian ini sebanyak 5 titik sampling, dimana satu titik sampling akan diambil pada bagian *inlet* dari air baku yang di sampling dan diambil satu titik sampling pada *outlet* masing-masing reaktor. Pengambilan sampel dilakukan setiap harinya pada pagi hari dan dalam satu hari hanya dilakukan sekali sampling. Setelah melakukan sampling, selanjutnya sampel air dianalisis sesuai dengan parameter penelitian kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*.

3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah mendapatkan hasil analisis laboratorium mengenai kekeruhan, kandungan zat organik, dan total bakteri *coliform* pada input dan output sehingga bisa diketahui berapa efisiensi penurunan dari *slow sand filter* untuk masing-masing parameter. Kemudian dari hasil efisiensi tersebut bisa ditentukan variabel mana yang paling optimal dalam menurunkan masing-masing parameter.

3.3.7 Kesimpulan dan saran

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian dan analisis dapat ditarik kesimpulan. 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 Kualitas Air baku

Pada penelitian ini digunakan air baku yang berasal dari air sumur. Air baku yang diambil berada di lokasi kelurahan Mulyorejo, kecamatan Mulyorejo Surabaya. Pada penelitian ini dilakukan penelitian pendahuluan dengan menganalisis beberapa parameter yaitu, salinitas, turbiditas, zat organik, dan total *coliform*. Menurut hasil penelitian pendahuluan kadar kualitas pada air baku yang digunakan adalah sebagai berikut pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Analisis Awal Kualitas Air Baku

Parameter	Hasil	Satuan
Kekeruhan	8,43	NTU
Total Coliform	16000	/100 mL Sampel
Zat Organik	29,07	Mg/L

Pada penelitian pendahuluan ini diujikan intensitas cahaya yang terdapat pada lampu LED berwarna merah dan biru. Intensitas cahaya pada lampu LED berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat pada *schmutzdecke*. Pada pengujian intensitas cahaya ini digunakan lux meter, sehingga di dapatkan hasil pengujian intensitas cahaya pada lampu LED biru dan merah pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Intensitas Cahaya pada Lampu LED

Jenis cahaya	Intensitas cahaya (lux)
Lampu LED Biru	122
Lampu LED Merah	32
Cahaya matahari dalam ruang	107
Cahaya Matahari luar ruangan	8000

Serta menurut syafriyudin (2015), Pada LED berwarna biru memiliki Panjang gelombang sebesar 450 – 500 nm dan pada lampu LED berwarna merah memiliki panjang gelombang sebesar 610 – 760 nm.

4.2 Pengoperasian Reaktor *slow sand filter*

Sistem aliran dalam reaktor *slow sand filter* adalah *downflow* yaitu inlet berada pada bagian atas dan outlet berada pada bagian bawah. Penampung air baku terdapat dua buah yaitu berada di bawah untuk menampung air dari pengambilan air baku kemudian dialirkan menggunakan pompa, keatas menuju bak penampung kedua. Kemudian terdapat *overflow* yang digunakan untuk mengalirkan air dari penampung diatas menuju penampung pertama jika adanya keluberan pada air. Hal tersebut bertujuan agar reaktor dapat dioperasikan selama 24 jam dengan sendirinya. Reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Inlet menuju reaktor menggunakan selang pvc dengan diameter $\frac{1}{2}$ inchi sama halnya dengan outlet yaitu menggunakan selang yang disambungkan dengan kran berdiameter $\frac{1}{2}$ inchi. Pengaturan kecepatan filtrasi menggunakan kran dari penampung air di atas dan diatur sesuai dengan variasi penelitian yaitu $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$.

Pengoperasian SSF dengan urutan tersebut dikarenakan menurut Khumalasari (2010), Meningkatnya laju filtrasi akan mengakibatkan periode *scrapping* terhadap unit SSF akan sering dilakukan. Berkaitan dengan tidak terjadi proses filtrasi sempurna, aliran filtrasi yang tinggi melewati lubang menyebabkan waktu kontak yang semakin singkat sehingga menyebabkan ikut terbawanya partikel-partikel halus yang akan disaring. Berikut merupakan debit yang masuk ke dalam reaktor permenit:

Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan laju filtrasi sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

- Q_1 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor
= $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2$
= $0,00081 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,81 \text{ L}/\text{jam}$
= $0,0135 \text{ L}/\text{menit}$
= $13,5 \text{ mL}/\text{menit}$

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

- Q2 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor
= $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2$
= $0,00162 \text{ m}^3/\text{jam} = 1,62 \text{ L/jam}$
= $0,027 \text{ L/ menit}$
= 27 mL/menit

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

- Q3 = Laju filtrasi \times Luas Reaktor
= $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2$
= $0,00243 \text{ m}^3/\text{jam} = 2,43 \text{ L/jam}$
= $0,0405 \text{ L/ menit}$
= $40,5 \text{ mL/menit}$

Pengaturan debit dilakukan pada awal minggu pergantian variasi kecepatan filtrasi. sebelum memulai pengoperasian penelitian dilakukan pengoperasian tahap pertama yaitu aklimatisasi. Aklimatisasi bertujuan untuk terbentuknya lapisan biofilm atau lapisan *schmutzdecke*. Pengoperasian pada tahap aklimatisasi ini dilakukan di dalam reaktor dan dialirkan air selama 24 jam selama 2 minggu.

Setelah dilakukan tahap aklimatisasi, pengoperasian unit SSF dimulai dengan menggunakan variasi pertama yaitu dengan melakukan variasi pertama yaitu kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, dan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ yang masing-masing dioperasikan selama 5 hari. Waktu selama 5 hari ini dianggap cukup untuk mengurangi parameter yang diuji yaitu kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*.

4.2.1 Analisis kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*

Analisis kekeruhan dianalisis dengan menggunakan metode turbidimetri yaitu diuji dengan menggunakan turbidimeter. Analisis dengan menggunakan metode turbidimetri ini dilakukan pada laboratorium jurusan teknik lingkungan dengan merek turbidimeter yaitu Hanna instruments seri HI88703. Analisis

dilakukan dengan memasukan sampel air sebanyak 10 mL kedalam tabung untuk dimasukkan ke dalam turbidimeter. Untuk langkah kerja Analisis kekeruhan terdapat pada **lampiran 1**.

Analisis zat organik dengan menggunakan metode permanganate value (PV) dengan prinsip di asamkan kondisi sampel kemudian dipanaskan dan dititrisi dengan $KMnO_4$ kemudian jumlah titrasi digunakan untuk menghitung nilai zat organik yang terkandung di dalam sampel air, langkah kerja analisis PV terdapat pada **lampiran 3**.

Pada Analisis total *coliform* menggunakan metode MPN yaitu metode yang menggunakan tabung fermentasi yang digunakan media *lactose broth* sebagai tempat tumbuh bakteri. Setelah diketahui hasil Analisis dengan metode MPN maka dicocokkan dengan indeks total *coliform* yang terkandung di dalam sampel air. Langkah kerja terdapat pada **lampiran 2**.

4.3 Pengoperasian Tahap Pertama

Pada pengoperasian unit *slow sand filter* pada tahap pertama dilakukan aklimatisasi selama 14 hari, menurut Rahmayanti (2012), pembentukan lapisan *schmutzdecke* memerlukan waktu 2-3 minggu, serta dibutuhkan suhu dan bahan organik pada air baku. Pelaksanaan aklimatisasi bertujuan untuk mengadaptasikan media dan membentuk lapisan *schmutzdecke* yang menjadi faktor utama dalam pengoperasian filtrasi pada unit SSF.

Pada reaktor SSF ini menggunakan media geotekstil setebal 6 cm, sehingga setelah 14 hari pada lapisan geotekstil menjadi berwarna kecoklatan. Media pasir setebal 100 cm dengan diameter 0,15-0,35 mm serta media kerikil setinggi 15 cm dengan diameter 10-30 mm dan 5 cm dengan diameter 3-4 mm digunakan dalam reaktor SSF.

Pengoperasian tahap aklimatisasi dilakukan selama 14 hari dimulai pada 4 september 2017 hingga 17 september 2017. Aklimatisasi dilakukan dengan pengoperasian seluruh reaktor dengan mengalir reaktor dengan menggunakan air baku. Air baku

yang digunakan yaitu menggunakan air sumur. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil 5 titik sampling. Satu titik sampling dari inlet air baku, kemudian empat titik sampling pada outlet unit SSF reaktor kontrol dalam ruangan, kontrol luar ruangan, reaktor menggunakan lampu LED merah, dan reaktor menggunakan lampu LED biru.

Setelah dilakukan sampling pada 5 titik sampling, dilakukan analisis pada parameter kekeruhan dengan menggunakan metode turbidimetri, analisis zat organik dengan menguji nilai Pv pada sampel, dan analisis kandungan *total coliform* dengan metode MPN. Pada tahap aklimatisasi didapatkan dua data, yaitu berasal dari awal aklimatisasi (hari ke-1) dan lainnya terdapat pada akhir aklimatisasi (hari ke-14). Pengujian setiap parameter dilakukan pada awal aklimatisasi dan akhir aklimatisasi.

4.2.1 Pengaruh aklimatisasi media terhadap efisiensi *removal* terhadap parameter kekeruhan.

Berikut pada Tabel 4.3 merupakan hasil analisis kekeruhan serta hasil perhitungan efisiensi *removal* setiap reaktor pada parameter kekeruhan selama masa aklimatisasi. Serta pada tabel berikutnya yaitu pada Pada parameter kekeruhan dianalisis dengan menggunakan turbidimetri, dengan cara analisis menggunakan terdapat pada **lampiran 1**.

Tabel 4.3 Efisiensi *Removal* Parameter Kekерuhan pada Tahap Aklimatisasi

Minggu ke -	Kekeruhan Inlet (NTU)	Kekeruhan Outlet							
		Kontrol Luar (NTU)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (NTU)	Efisiensi Filter (%)
1	5,48	1,18	78,47	0,78	85,77	0,84	84,68	1,22	77,74
2	6,53	0,87	86,68	0,78	88,06	0,57	91,28	0,61	90,66
Rata-Rata efisiensi			82,58		86,92		87,98		84,20

Pada Tabel 4.3 Menunjukkan bahwa adanya penurunan pada parameter kekeruhan di setiap reaktor, sehingga nilai inlet mengalami peningkatan menjadi lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa masa aklimatisasi telah berhasil untuk dapat menurunkan kekeruhan pada air baku awal.

Pada awal aklimatisasi nilai inlet yaitu sebesar 5,48 NTU dan reaktor yang memiliki nilai kekeruhan terendah setelah dialiri pada hari pertama aklimatisasi adalah kontrol dalam yaitu sebesar 0,78 NTU. Namun setelah akhir aklimatisasi reaktor yang memiliki kekeruhan terendah yaitu pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 0,57 NTU dengan nilai inlet yang berbeda pada akhir aklimatisasi yaitu sebesar 6,53 NTU.

Pada hasil outlet masing-masing reaktor nilai kekeruhan sudah dibawah batas kadar maksimum yang diperbolehkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/ PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum yaitu <5 NTU. Air baku inlet pada minggu pertama maupun kedua melewati kadar maksimum yang diperbolehkan, namun pada nilai outlet masing-masing reaktor paling tinggi yaitu sebesar 1,22 NTU pada minggu pertama dengan reaktor SSF menggunakan lampu LED biru dan pada minggu kedua nilai kekeruhan pada outlet reaktor SSF adalah 0,87 NTU oleh reaktor yang berada di luar ruangan.

Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa adanya kenaikan efisiensi pada akhir aklimatisasi di masing-masing reaktor, hal ini disebabkan sudah cukupnya masa aklimatisasi yang diperlukan pada keempat reaktor. Meskipun nilai kekeruhan tidak terbilang rendah, namun nilai kekeruhan lebih baik jika dibandingkan dengan kekeruhan pada inlet awal ataupun inlet akhir aklimatisasi.

Reaktor dengan efisiensi penurunan paling baik pada masa aklimatisasi dengan parameter kekeruhan, yaitu adalah reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dengan rata-rata efisiensi sebesar 87,98%, kemudian pada reaktor dengan menggunakan lampu LED biru yaitu sebesar 84,20%, pada reaktor kontrol dalam sebesar 86,92% dan rata-rata efisiensi filter terendah terdapat pada reaktor luar ruangan yaitu sebesar

82,58%. Adapun efisiensi maksimum terdapat pada akhir aklimatisasi dalam reaktor dengan menggunakan bantuan lampu LED merah yaitu sebesar 91,28%. Kemudian pada reaktor lainnya nilai maksimum terdapat pada akhir aklimatisasi dengan nilai efisiensi sebesar 90,66% pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru, kemudian sebesar 88,06% pada reaktor dala ruangan tanpa menggunakan lampu LED, dan pada reaktor SSF luar ruangan nilai efisiensi maksimum sebesar 86,68%.

Adanya penurunan kekeruhan pada akhir aklimatisasi disebabkan partikel bahan pencemar yang terdapat pada air baku dapat disisihkan oleh filter. Hal ini dikarenakan adanya proses fisik dalam SSF yaitu *mechanical straining* yang berperan untuk menyisihkan serta menyaring bahan pencemar pada rongga antar butiran yang lebih kecil dari ukuran partikel bahan pencemar.

Kemudian terdapat proses sedimentasi dalam filter yaitu proses pengendapan partikel bahan pencemar pada permukaan butiran media pasir yang ukurannya lebih kecil dibandingkan partikel bahan pencemar (Fauziah, 2013). sehingga terjadi penyisihan konsentrasi kekeruhan yang terdapat pada air baku. Hal tersebut menurut Adekunle (2009), Kekeruhan dalam air dapat diturunkan dengan mikroorganisme yang tumbuh pada butiran media pasir meskipun lapisan *schmutzdecke* belum terbentuk sempurna.

4.2.2 Pengaruh aklimatisasi media terhadap parameter zat organik

Pada analisis kandungan zat organik sampel air dianalisis dengan menggunakan uji nilai permanganat dengan tata cara yang terlampir pada lampiran 3. Sehingga setelah mendapatkan data analisis yang terdapat pada Tabel 4.4. Pada Tabel 4.4 merupakan jumlah kandungan zat organik pada akhir aklimatisasi lebih baik jika dibandingkan dengan inlet.

Tabel 4.4 Efisiensi *Removal* terhadap Parameter Zat Organik pada Tahap Aklimatisasi

Minggu ke -	Zat organik Inlet (mg/L)	Uji nilai zat organik							
		Kontrol Luar (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (mg/L)	Efisiensi Filter (%)
1	42,19	34,76	17,61	26,86	36,33	22,59	46,45	23,38	44,57
2	24,02	17,70	26,32	12,26	48,95	6,32	73,69	7,33	69,48
Rata-Rata efisiensi			21,97		42,64		60,07		57,03

Pada Tabel 4.4 Konsentrasi zat organik inlet pada awal aklimatisasi yaitu 42,19 mg/L dengan konsentrasi zat organik tertinggi yaitu pada kontrol diluar ruangan pada akhir aklimatisasi yaitu sebesar 34,76 mg/L dengan nilai kandungan zat organik terendah yaitu terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 22,59 mg/L.

Pada akhir aklimatisasi didapatkan hasil yaitu sebesar 6,32 mg/L merupakan kandungan zat organik terendah yang terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah, dengan nilai inlet sebesar 24,02 mg/L. Setelah didapatkan data hasil analisis, didapatkan efisiensi dari masing-masing reaktor.

Terlihat bahwa kandungan zat organik outlet dari masing-masing reaktor sejak awal aklimatisasi hingga akhir aklimatisasi mengalami penurunan jumlah kandungan zat organik. Pada awal aklimatisasi efisiensi penurunan terbesar yaitu sebesar 46,45%. Kemudian, penurunan jumlah kandungan zat organik terbesar pada akhir aklimatisasi yaitu 73,69% terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah.

Penurunan kandungan zat organik disebabkan oleh mulai terbentuknya lapisan *schmutzdecke* pada reaktor SSF. SSF bekerja dengan pembentukan lapisan biofilm di bagian atas lapisan pasir halus, lapisan ini melakukan pemurnian dalam pengolahan air. Lapisan *schmutzdecke* akan menangkap partikel pencemar serta zat organik yang terlarut akan teradsorpsi dan diserap oleh bakteri, fungi, protozoa yang terdapat pada lapisan *schmutzdecke* (Huisman, 1974).

4.2.3 Pengaruh aklimatisasi media terhadap parameter *Total Coliform*

Pada tahap aklimatisasi dilakukan analisis parameter total *coliform* pada setiap 5 titik sampling, yaitu pada inlet air baku dan 4 titik sampling pada outlet masing-masing reaktor SSF dengan metode MPN yang terletak pada **lampiran 2**. Berikut pada Tabel 4.5 adalah efisiensi *removal* pengaruh aklimatisasi terhadap parameter total *coliform* selama masa aklimatisasi 14 hari

Tabel 4.5 Efisiensi *removal total coliform* pada tahap aklimatisasi

Minggu ke -	Total <i>Coliform</i> Inlet (/100 mL sampel)	Total <i>coliform</i> Outlet							
		Kontrol Luar (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	LED Merah (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	LED Biru (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)
1	13000	8000	38,47	5400	58,47	2100	83,85	2600	80
2	7000	2900	58,58	2100	70	280	96	430	93,86
Rata-Rata efisiensi			48,53		64,24		89,93		86,93

Pada Tabel 4.5 dapat terlihat bahwa terdapat penurunan jumlah total *coliform* pada masing-masing reaktor pada akhir aklimatisasi. Pada awal aklimatisasi total *coliform* pada inlet air baku yaitu sebesar 13000/100 mL sampel, jumlah total *coliform* terkecil yaitu 2100/100 mL sampel terdapat pada reaktor dengan menggunakan LED merah.

Pada akhir aklimatisasi nilai inlet yaitu sebesar 7000/100 mL sampel dan jumlah total *coliform* terkecil pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu berjumlah 96/100 mL sampel. Nilai efisiensi *removal* pada parameter total *coliform* di awal aklimatisasi menunjukkan bahwa nilai outlet lebih baik dibandingkan inlet. Hal ini disebabkan mulai terbentuknya lapisan *schmutzdecke* pada media geotekstil dan media pasir, sehingga bakteri patogen seperti *E.coli* dapat disisihkan.

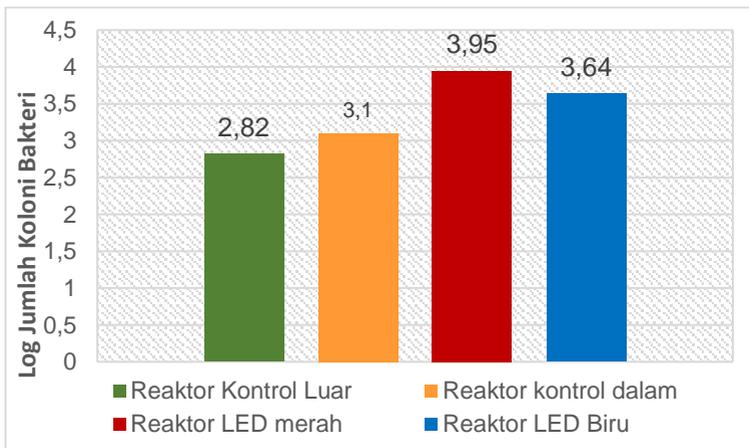
Terlihat efisiensi *removal* mengalami kenaikan pada minggu terakhir aklimatisasi. Pada akhir aklimatisasi rata-rata efisiensi terendah yaitu pada reaktor luar ruangan sebesar 58,58%. Rata-rata efisiensi paling baik terlihat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 89,93%.

Efisiensi penurunan *total coliform* tertinggi pada tahap aklimatisasi yaitu pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah, hal ini disebabkan menurut syafriyudin (2015), warna merah bagus untuk pertumbuhan karena mikroorganisme atau protozoa membutuhkan klorofil sehingga fotosintesis dapat berjalan secara optimal.

Adapun jumlah kandungan *total coliform* pada 2 hari aklimatisasi terlihat pada Tabel 4.5 bahwa dibandingkan nilai inlet nilai outlet pada masing-masing reaktor lebih rendah. Terutama pada akhir aklimatisasi terdapat selisih yang cukup besar antar inlet dan reaktor dengan menggunakan lampu LED merah.

Kemudian setelah dilakukan aklimatisasi selama 14 hari, dilakukan pengecekan pembentukan lapisan *schmutzdecke* pada masing-masing reaktor. Analisis pembentukan lapisan *schmutzdecke* dilakukan dengan melakukan Analisis bakteri pada setiap reaktor SSF.

Analisis bakteri ini dilakukan dengan cara sampel air diambil dari permukaan geotekstil pada inlet reaktor, sampel air pada masing-masing reaktor diambil sebanyak 10 mL. Kemudian dilakukan pengenceran dan ditumbuhkan pada media NA dengan Teknik *pour plate*. Hasil pengamatan bakteri pada lapisan *schmutzdecke* pada permukaan *geotextile* terletak pada **lampiran 5**, serta hasil jumlah koloni bakteri yang terdapat pada masing-masing reaktor terdapat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Jumlah Koloni Bakteri pada Reaktor Uji

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa hasil uji CFU pada Gambar 4.2 dapat terlihat bahwa pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah memiliki nilai log yang tinggi sebesar 3,95 dibandingkan dengan reaktor lainnya. Hal ini dikarenakan adanya mikroorganisme yang berada pada lapisan *geotextile* pada reaktor tersebut lebih banyak dibandingkan pada reaktor yang lain. Hal ini menguatkan pada data akhir aklimatisasi bahwa rata-rata efisiensi pada setiap parameter lebih baik pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah.

4.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam

Kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam merupakan salah satu variasi pada penelitian ini. Pada awal pengoperasian setelah tahap aklimatisasi dijalankan reaktor dengan kecepatan awal 0,3 m³/m².jam selama masa pengoperasian 5 hari pada empat reaktor.

Pada variasi kecepatan laju filtrasi pertama dilakukan pengukuran untuk mengetahui debit air yang seharusnya masuk pada reaktor. Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan laju filtrasi sebesar 0,3 m³/m².jam

$$\begin{aligned} Q &= \text{Laju filtrasi} \times \text{Luas Reaktor} \\ &= 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\ &= 0,00243 \text{ m}^3/\text{jam} = 2,43 \text{ L/jam} \\ &= 0,0405 \text{ L/ menit} \\ &= 40,5 \text{ mL/menit} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan perhitungan debit air yang masuk yaitu sebesar 40,5 mL/detik. Kemudian pengukuran dilakukan dengan cara mengukur laju outlet pada setiap reaktor dengan menggunakan beaker *glass* selama satu menit hingga mendapatkan kecepatan yang diinginkan.

4.3.1 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam terhadap efisiensi penurunan kekeruhan

Setelah dioperasikan selama 5 hari, keempat reaktor dengan 5 titik sampling dilakukan analisis pada parameter kekeruhan ditunjukkan pada Tabel 4.6 merupakan hasil efisiensi penurunan kekeruhan dengan kecepatan 0,3 m³/m².jam

Tabel 4.6 Efisiensi *Removal* terhadap Parameter Kekerohan dengan Kecepatan 0,3 m³/m².jam

Hari ke -	Kekeruhan Inlet (NTU)	Kekeruhan Outlet							
		Kontrol Luar (NTU)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (NTU)	Efisiensi Filter (%)
1	5,55	0,87	84,33	0,65	88,29	0,54	90,28	0,54	90,28
2	3,13	1,47	53,04	1,36	56,55	0,74	76,36	1,28	59,11
3	5,67	1,07	81,13	0,75	86,78	0,52	90,83	0,52	90,83
4	3,67	1,12	69,49	0,51	86,11	0,54	85,29	0,39	89,38
5	7,2	0,85	88,2	0,61	91,53	0,48	93,34	0,53	92,64
Rata-Rata efisiensi		75,24		81,85		87,22		84,45	

Tabel 4.7 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	kekeruhan outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi filter (%)	LED merah (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED merah (%)	LED biru (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	0,65	88,29	0,54	90,28	1,99	0,54	90,28	1,99
2	1,36	56,55	0,74	76,36	19,81	1,28	59,11	2,56
3	0,75	86,78	0,52	90,83	4,05	0,52	90,83	4,05
4	0,51	86,11	0,54	85,29	-0,82	0,39	89,38	3,27
5	0,61	91,53	0,48	93,34	1,81	0,53	92,64	1,11
Rata-rata Kontribusi reaktor					5,37			2,59

Tabel 4.6 menunjukkan nilai dari parameter kekeruhan setiap reaktor, pada hari ke-1 dengan nilai inlet 5,55 NTU reaktor dengan kekeruhan terkecil yaitu pada LED merah dan biru yaitu 0,54 NTU. Kemudian pada hari ke-5 pengoperasian, nilai kekeruhan pada inlet yaitu sebesar 7,2 NTU dengan nilai kekeruhan terkecil pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu 0,48 NTU.

Kemudian pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa analisis parameter kekeruhan pada kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ masih berfluktuatif. Pada hari ke-2 pengoperasian menunjukkan efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor mengalami penurunan, kemudian pada hari ke-3 kembali naik dan hari ke-4 terjadi penurunan efisiensi namun tidak sebesar penurunan yang terjadi pada hari ke-3. Efisiensi *removal* pada semua reaktor kembali meningkat pada hari ke-5 pengoperasian. Nilai rata-rata efisiensi tertinggi yaitu pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah yaitu sebesar 87,22%.

Fluktuasi yang terjadi pada efisiensi *removal* pada pengoperasian $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dikarenakan belum stabilnya lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk, serta kondisi dan kualitas air baku yang berubah-ubah setiap hari sehingga hasil dari outlet masing-masing mengalami hal yang sama. Lapisan *schmutzdecke* bergantung pada makanan yang tersedia yaitu bahan organik pada air baku, kandungan oksigen serta suhu (Rahmayanti, 2012).

Seperti nilai kekeruhan outlet reaktor pada hari ke-2 dan ke-4 mengalami penurunan efisiensi dikarenakan air baku memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan 3 hari lainnya, sehingga selisih pengurangannya terlihat lebih sedikit. Menunjukkan perbandingan parameter setiap hari pengoperasian. Kemudian terlihat hari ke-2 dan ke-4 nilai kekeruhan pada outlet masing-masing reaktor memiliki nilai lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kekeruhan yang terdapat inlet air baku. Hal ini menjelaskan hubungan efisiensi yang dimiliki oleh semua reaktor pada hari ke-2 dan ke-4 lebih rendah dibandingkan dengan pengoperasian hari lainnya.

Setelah diketahui efisiensi *removal* masing-masing reaktor SSF, Kemudian dihitung nilai kontribusi dari masing-masing penggunaan SSF dengan bantuan lampu LED dengan SSF tanpa menggunakan lampu dengan cara mengetahui selisih dari masing-masing reaktor dengan menggunakan lampu LED dengan nilai efisiensi dari reaktor SSF kontrol dalam suatu ruangan yang sama. Seperti pada tabel 4.7 untuk mendapatkan jumlah kontribusi pemakaian lampu LED merah yaitu dengan mencari selisih pada kolom 4 dikurangi dengan nilai yang terdapat pada kolom 2 dan didapatkan nilai kontribusi dari penggunaan lampu LED merah pada kolom 5.

Sehingga didapatkan pada Tabel 4.7 adalah kontribusi dari penggunaan reaktor SSF dengan bantuan lampu LED merah dan biru terhadap reaktor yang berada dalam ruangan namun tidak memakai bantuan lampu. Terlihat dalam tabel nilai kontribusi pada reaktor dengan menggunakan bantuan LED merah sebesar 5,37% lebih efektif dan pada reaktor dengan menggunakan bantuan LED biru memiliki nilai rata-rata kontribusi sebesar 2,59%.

Kontribusi dari penggunaan reaktor dengan menggunakan lampu LED merah lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor dengan lampu LED biru disebabkan adanya perbedaan panjang gelombang, yaitu 610-760 nm pada lampu LED merah dan 450-500 nm panjang gelombang LED biru (syarifjudin, 2015).

4.3.2 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan zat organik.

Pada variasi kecepatan pertama yaitu kecepatan filtrasi $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dilakukan analisis terhadap parameter zat organik pada nilai inlet serta hasil outlet dari keempat reaktor dianalisis dengan menguji nilai permanganat pada sampel air. Sehingga terlihat hasil analisis selama 5 hari pengoperasian reaktor dalam tabel 4.8 serta pada Tabel 4.9 kontribusi dari penggunaan reaktor SSF dengan bantuan lampu LED berwarna merah dan biru terhadap reaktor kontrol.

Tabel 4.8 Efisiensi *Removal* terhadap Zat Organik dengan Kecepatan 0,3 m³/m².jam

Hari ke -	Zat organik inlet (mg/L)	Zat organik dalam outlet							
		Kontrol Luar (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (mg/L)	Efisiensi Filter (%)
1	27,81	25,28	9,1	19,59	29,55	2,53	90,91	4,47	83,91
2	23,51	23,00	2,16	20,65	12,16	8,22	65,06	6,32	73,12
3	23,51	20,86	11,3	16,43	30,11	2,65	88,73	4,30	81,72
4	25,53	20,60	19,31	16,68	34,66	0,63	97,53	3,16	87,63
5	23,13	18,96	18,04	16,43	28,97	1,26	94,56	4,17	81,97
Rata-Rata efisiensi			11,98		27,09		87,36		81,67

Tabel 4.9 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Zat Organik Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED merah (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	19,59	29,55	2,53	90,91	61,36	4,47	83,91	54,36
2	20,65	12,16	8,22	65,06	52,9	6,32	73,12	60,96
3	16,43	30,11	2,65	88,73	58,62	4,30	81,72	51,61
4	16,68	34,66	0,63	97,53	62,87	3,16	87,63	52,97
5	16,43	28,97	1,26	94,56	65,59	4,17	81,97	53
Rata-rata Kontribusi reaktor					60,27			54,58

Dalam tabel 4.8 nilai zat organik yang terkandung dalam air hasil outlet setiap reaktor mengalami penurunan, kandungan zat organik terendah yaitu pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu dengan nilai zat organik 0,63 mg/L dengan kandungan zat organik pada inlet sebesar 23,53 mg/L.

Setelah didapatkan data hasil analisis pada parameter zat organik, kemudian dihitung nilai efisiensi *removal* terhadap parameter zat organik yang terdapat pada masing-masing reaktor. Kemudian terlihat bahwa adanya penurunan efisiensi *removal* yang terjadi pada hari ke-2 pengoperasian hal ini dikarenakan reaktor baru dioperasikan kembali setelah aklimatisasi sehingga terdapat rongga kosong diantara butiran media filter. sehingga setelah hari ke-3, rongga antar butiran media yang sebelumnya kosong, mulai terisi karena partikulat yang berukuran lebih besar dibandingkan pasir. Sehingga mulai adanya kehidupan mikroorganisme di dalam lapisan *schmutzdecke* namun masih belum stabil dikarenakan mikroorganisme masih pada tahap adaptasi.

Lapisan biofilm yang berada pada lapisan atas pasir halus atau disebut lapisan *schmutzdecke* mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera, dan larva serangga air (Masduqi, 2012). Pada pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat pada lapisan ini dibutuhkan substrat yang berasal dari polutan bahan pencemar yang terdapat pada air baku.

Pada hari ke-4 pengoperasian efisiensi *removal* tertinggi yaitu sebesar 97,53% yang dimiliki oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah. Pada rata-rata efisiensi *removal* tertinggi yaitu sebesar 87,36% yang dimiliki oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED merah. Penurunan efisiensi *removal* yang terdapat pada hari ke-2 dikarenakan oleh kandungan zat organik yang rendah, sehingga tidak terlihat terjadinya selisih yang besar dalam pengurangan parameter. pada hari ke-2 jumlah kandungan zat organik pada keempat reaktor lebih rendah dibandingkan zat organik pada inlet.

Setelah diketahui nilai penurunan efisiensi dari masing-masing reaktor, dilakukan perhitungan nilai kontribusi untuk menunjukkan seberapa besar pengaruh dari penggunaan lampu LED biru dan merah didalam reaktor SSF. Nilai kontribusi ini didapatkan dengan menghitung selisih antara nilai efisiensi *removal* SSF dengan lampu biru/merah seperti pada tabel 4.9 untuk mendapatkan jumlah kontribusi pemakaian lampu LED biru yaitu dengan mencari selisih pada kolom 7 dikurangi dengan nilai yang terdapat pada kolom 2 dan diapatkan nilai kontribusi dari penggunaan lampu LED biru pada kolom 8.

Kamudian didapatkan kontribusi dari penggunaan lampu LED merah dan biru dibandingkan pada reaktor kontrol yang terletak didalam ruangan namun tidak memakai bantuan lampu LED. Didapatkan pada Tabel 4.9 yaitu kontribusi rata-rata pada reaktor dengan menggunakan bantuan lampu LED merah adalah sebesar 60,27% dengan kontribusi maksimum terdapat pada hari ke-5 pengoperasian yaitu sebesar 65,59%. Pada reaktor SSF dengan bantuan lampu LED berwarna biru memiliki nilai kontribusimaksimum terhadap reaktor kontrol dalam ruangan yaitu sebesar 60,96% pada pengoperasian hari ke-2, dengan nilai rata-rata kontribusisebesar 54,58%.

4.3.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam terhadap efisiensi penurunan total *coliform*

Pada pengoperasian dengan kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam dilakukan analisis kandungan total *coliform* yang terdapat pada masing-masing reaktor. Adanya penurunan total *coliform* menandakan terbentuknya lapisan *schmutzdecke* dalam reaktor. Hal ini disebabkan penurunan total *coliform* dapat terjadi jika bakteri *E.coli* mengalami penurunan yang disebabkan oleh termakannya bakteri *E.coli* atau bakteri patogen lainnya oleh mikroorganisme yang terbentuk dalam lapisan *schmutzdecke*.

Berikut adalah penurunan total *coliform* pada kecepatan 0,3 m³/m².jam yang dianalisis selama 5 hari pengoperasian reaktor pada Tabel 4.12 dan dapat terlihat nilai rata-rata kontribusi dari penggunaan lampu LED merah dan biru pada reaktor SSF terhadap reaktor tanpa bantuan lampu pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Efisiensi *Removal* terhadap Total *Coliform* dengan Kecepatan 0,3 m³/m².jam

Hari ke -	Total <i>coliform</i> inlet (/100 mL sampel)	total <i>Coliform</i> pada Outlet							
		Kontrol Luar (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)
1	1600	610	61,88	430	73,13	210	86,88	270	83,13
2	1300	300	76,93	310	76,16	135	89,62	113	91,31
3	1600	280	82,50	320	80,00	64	96	90	94,38
4	2800	260	90,72	240	91,43	42	98,5	85	96,97
5	3100	250	91,94	210	93,23	27	99,13	41	98,68
Rata-Rata efisiensi			80,79		82,79		94,03		92,89

Tabel 4.11 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Total <i>coliform</i> Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	LED merah (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	430	73,13	210	86,88	13,75	270	83,13	10
2	310	76,16	135	89,62	13,46	113	91,31	15,15
3	320	80,00	64	96	16	90	94,38	14,38
4	240	91,43	42	98,5	7,07	85	96,97	5,54
5	210	93,23	27	99,13	5,9	41	98,68	5,45
Rata-rata Kontribusi reaktor					11,24			10,10

Pada Tabel 4.10 terlihat bahwa penurunan total *coliform* mengalami penurunan, terutama pada reaktor dengan lampu berwarna merah. Pada tabel total *coliform* terkecil terdapat pada hari ke-5 pengoperasian dengan reaktor yang menggunakan lampu LED berwarna merah yaitu berjumlah 27/100 mL sampel dengan kandungan bakteri pada inlet sebesar 3100/100 mL sampel.

Hal ini dikarenakan warna merah pada *spectrum* warna berfungsi sebagai pertumbuhan mikroorganisme. Sehingga dapat terlihat bahwa pengurangan terbesar terdapat pada reaktor ini. Kemudian terlihat efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor belum stabil hingga hari ke-4 pengoperasian. Hal ini disebabkan oleh belum stabilnya pembentukan lapisan *schmutzdecke* pada masing-masing reaktor.

Pada pengambilan sampel hari ke-1 hingga hari ke-4 hasil analisis menunjukkan efisiensi *removal* mengalami peningkatan secara bertahap dan kenaikan sejak hari ke-4 hingga hari ke-5 efisiensi *removal* cenderung konstan. Hal ini terjadi dikarenakan proses pertumbuhan memiliki 4 fase pertumbuhan. Menurut Trihadiningrum (2012), Fase 1 adalah fase *lag* yaitu relatif tidak terjadi penambahan populasi mikroorganime, fase 2 yaitu fase *logaritmik* yaitu fase pertumbuhan seimbang, fase 3 yaitu fase *stationer* yaitu fase penurunan populasi sel hidup, laju pertumbuhan relatif konstan, fase 4 yaitu fase kematian yaitu laju kematian mikroorganisme meningkat. Oleh sebab itu pada hari ke-1 hingga ke-4 dapat disebut sebagai fase 2 dalam kehidupan mikroorganisme dan pada hari ke-4 hingga ke-5 dimulainya fase 3 dari pertumbuhan mikroorganisme. Pada pengoperasian lima hari ini mikroorganisme tetap dapat mengurai bakteri *E.coli* yang terdapat pada air baku.

Kemudian setelah mengetahui nilai penurunan efisiensi total coliform dari masing-masing reaktor, dilakukan perhitungan nilai kontribusinya yaitu dengan menghitung selisih dari efisiensi *removal* reaktor dengan menggunakan bantuan lampu LED biru/merah dan reaktor tanpa bantuan lampu didalam satu ruangan yang sama. Perhitungan besar kontribusi penggunaan lampu pada

reaktor SSF dengan menggunakan lampu LED merah yaitu dengan menghitung selisih dari efisiensi penggunaan reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yang terdapat pada kolom 4 dengan efisiensi reaktor kontrol dalam yang terdapat pada kolom 2, sehingga besar kontribusi penggunaan lampu LED merah dapat terlihat pada kolom 5.

Pada Tabel 4.11 terlihat bahwa kontribusi dari penggunaan lampu LED pada reaktor SSF terhadap reaktor kontrol di luar ruangan. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa kontribusi dari penggunaan lampu LED merah yaitu mempunyai nilai rata-rata 16,65% sedangkan pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru memiliki nilai rata-rata kontribusi sebesar 15,82%.

4.4 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam

Variasi kecepatan filtrasi kedua yaitu dengan 0,2 m³/m².jam sebelumnya dilakukan pengaturan menuju kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam. Berikut adalah perhitungan debit yang masuk dalam reaktor SSF. Perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan laju filtrasi sebesar 0,2 m³/m².jam

$$\begin{aligned} Q &= \text{Laju filtrasi} \times \text{Luas Reaktor} \\ &= 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 0,0081 \text{ m}^2 \\ &= 0,00162 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 1,62 \text{ L/jam} \\ &= 0,027 \text{ L/ menit} \\ &= 27 \text{ mL/ menit} \end{aligned}$$

Penggunaan perhitungan debit yang masuk kedalam unit reaktor secara manual dengan cara menggunakan *beaker glass* untuk menghitung debit selama 1 menit.

4.4.1 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam terhadap efisiensi penurunan kekeruhan

Pada variasi kecepatan laju filtrasi yang kedua yaitu 0,2 m³/m² diambil sampel pada 5 titik sampling kemudian dilakukan analisis terhadap parameter kekeruhan dengan menggunakan metode turbidimetri. Penurunan efisiensi dalam parameter kekeruhan dengan menggunakan kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Efisiensi *Removal* terhadap kekeruhan dengan kecepatan 0,2 m³/m².jam

Hari ke -	Kekeruhan Inlet (NTU)	Kekeruhan Outlet							
		Kontrol Luar (NTU)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (NTU)	Efisiensi Filter (%)
1	10,3	1,09	89,42	0,75	92,72	0,44	95,73	0,39	96,22
2	10,7	1,35	87,39	1,22	88,6	0,72	93,28	0,87	91,87
3	7,3	1,25	82,88	1	86,31	0,63	91,37	0,86	88,22
4	12,2	1,13	90,74	1,08	91,15	0,75	93,86	0,65	94,68
5	9,5	1,55	83,69	0,95	90	0,6	93,69	0,75	92,11
Rata-Rata Efisiensi		86,82		89,76		93,59		92,62	

Tabel 4.13 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	kekeruhan outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi filter (%)	LED merah (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	0,75	92,72	0,44	95,73	3,01	0,39	96,22	3,5
2	1,22	88,6	0,72	93,28	4,68	0,87	91,87	3,27
3	1	86,31	0,63	91,37	5,06	0,86	88,22	1,91
4	1,08	91,15	0,75	93,86	2,71	0,65	94,68	3,53
5	0,95	90	0,6	93,69	3,69	0,75	92,11	2,11
Rata-rata Kontribusi reaktor					3,83			2,86

Dalam Tabel 4.12 pada 5 hari pengoperasian nilai kekeruhan pada masing-masing reaktor lebih kecil dibandingkan pada inlet. Nilai kekeruhan terendah terdapat pada hari ke-1 dengan reaktor lampu LED berwarna biru yaitu 0,39 NTU dengan kekeruhan pada inlet sebesar 10,3 NTU. Pada hari ke-5 pengoperasian nilai efisiensi terbesar terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah, dengan nilai kekeruhan yaitu sebesar 0,6 NTU dengan nilai inlet pada hari ke-5 yaitu 9,5 NTU.

Kemudian pada tabel menunjukkan masih berfluktuatifnya efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor. Terlihat dari keempat reaktor tersebut terlihat nilai efisiensi *removal* yang masih fluktuatif. Hal tersebut disebabkan oleh kualitas air baku yang fluktuatif setiap harinya, seperti halnya pada hari ke-2 nilai inlet air baku adalah 10,7 NTU dan kualitas air baku pada inlet hari ke-3 sebesar 7,3 NTU. Adanya perbedaan yang cukup jauh dalam kualitas air baku menyebabkan efisiensi dari keempat reaktor berubah-ubah.

Adanya penurunan kekeruhan pada akhir aklimatisasi disebabkan partikel bahan pencemar yang terdapat pada air baku dapat disisihkan oleh filter. Hal ini dikarenakan adanya proses fisik dalam SSF yaitu *mechanical straining* yang berperan untuk menyisihkan serta menyaring bahan pencemar pada rongga antar butiran yang lebih kecil dari ukuran partikel bahan pencemar. Kemudian terdapat proses sedimentasi dalam filter yaitu proses pengendapan partikel bahan pencemar pada permukaan butiran media pasir yang ukurannya lebih kecil dibandingkan partikel bahan pencemar (Fauziah, 2013). sehingga terjadi penyisihan konsentrasi kekeruhan yang terdapat pada air baku.

Kemudian pada hari ke-5 terlihat bahwa pada setiap reaktor mengalami penurunan efisiensi *removal* hal ini dikarenakan nilai inlet pada air baku lebih rendah dibandingkan hari sebelumnya sehingga terlihat selisih efisiensi *removal* yang lebih rendah dibandingkan hari ke-4. bahwa nilai kekeruhan pada inlet lebih tinggi dibandingkan pada keempat reaktor.

Kemudian dilakukan perhitungan nilai kontribusi setelah diketahui seluruh nilai efisiensi dari masing-masing reaktor. Perhitungan nilai kontribusi ini dilakukan dengan menghitung selisih dari penggunaan reaktor dengan menggunakan lampu LED biru/merah dengan reaktor tanpa bantuan lampu LED merah/biru yang terdapat pada kolom 4/7 dengan sinar matahari didalam suatu ruangan yang sama yang terdapat pada kolom 2. Kemudian didapatkan nilai kontribusinya pada kolom 5/8 pada Tabel 4.13

Kontribusi reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah dan biru dengan reaktor SSF tanpa bantuan lampu namun berada didalam ruangan terdapat pada Tabel 4.13. terlihat pada tabel bahwa nilai rata-rata kontribusi pada lampu LED merah yaitu sebesar 3,83% dengan nilai maksimum terdapat pada hari ke-3 sebesar 5,06%.

Setelah diketahui nilai kontribusi didapatkan bahwa dengan penggunaan lampu LED biru didalam reaktor SSF memiliki nilai efisiensi *removal* sebesar 92,62% dengan nilai kontribusi terhadap reaktor kontrol didalam ruangan yang sama sebesar 2,86%. Sedangkan pada reaktor SSF dengan bantuan lampu LED merah didapatkan rata-rata efisiensi *removal* sebesar 93,59% dengan nilai kontribusi yang didapatkan berdasarkan selisih dengan reaktor SSF kontrol didalam ruangan yang sama yaitu sebesar 3,83%.

4.4.2 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan zat organik

Pada variasi laju filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dilakukan analisis pada parameter kandungan zat organik pada setiap titik sampling yaitu pada inlet air baku dan keempat masing-masing outlet reaktor dengan menggunakan metode permanganat. Berikut data hasil analisis penurunan zat organik setiap masing-masing reaktor pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Efisiensi *Removal* terhadap Zat Organik dengan Kecepatan 0,2 m³/m².jam

Hari ke -	Zat organik inlet (mg/L)	Zat organik dalam outlet							
		Kontrol Luar (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (mg/L)	Efisiensi Filter (%)
1	25,53	17,70	30,7	8,85	65,35	1,90	92,58	3,79	85,15
2	13,90	10,87	21,82	6,32	54,55	2,15	84,55	3,41	75,46
3	18,96	15,42	18,67	10,87	42,67	3,79	80	5,31	72
4	20,98	12,77	39,16	9,10	56,63	1,26	93,98	3,03	85,55
5	19,59	9,73	50,33	7,08	63,88	0,13	99,34	1,90	90,33
Rata-Rata Efisiensi Filter		32,14		56,62		90,09		81,70	

Tabel 4.15 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Zat Organik Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi filter (%)	LED merah (mg/L)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (mg/L)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	8,85	65,35	1,90	92,58	27,23	3,79	85,15	19,8
2	6,32	54,55	2,15	84,55	30,00	3,41	75,46	20,91
3	10,87	42,67	3,79	80	37,33	5,31	72	29,33
4	9,10	56,63	1,26	93,98	37,35	3,03	85,55	28,92
5	7,08	63,88	0,13	99,34	35,46	1,90	90,33	26,45
Rata-rata Kontribusi reaktor					33,47			25,08

Dalam Tabel 4.14 kandungan zat organik dalam outlet keempat reaktor tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan zat organik yang terkandung dalam inlet. Pada parameter zat organik, kandungan zat organik terendah terdapat pada terdapat pada hari ke-5 pengoperasian yang dimiliki oleh reaktor dengan menggunakan LED berwarna merah yaitu sebesar 0,13 mg/L dibandingkan dengan zat organik pada inlet sebesar 25,53 mg/L.

Pada pengoperasian keempat reaktor tersebut selama 5 hari, hasil Analisis zat organik masih berfluktuatif hal ini dikarenakan belum stabilnya *schmutzdecke* yang terbentuk. Menurut Huisman (1974), alga dalam lapisan *schmutzdecke* membutuhkan cahaya untuk proses fotosintesisnya, serta energi yang didapatkan berasal dari oksidasi bahan organik. Mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* berperan penting dalam proses pemurnian air dalam filter. Fluktuatifnya nilai inlet yang menyebabkan kebutuhan akan sumber energi untuk mikroorganisme lapisan *schmutzdecke* berbeda. Sehingga terlihat efisiensi *removal* kandungan zat organik menunjukkan masih mengalami penurunan hingga hari ke-3, hal ini disebabkan masih belum terbentuk sempurna lapisan *schmutzdecke* pada tiga hari pengoperasian. Kemudian pada hari ke-4 mulai meningkatnya efisiensi *removal* pada setiap reaktor diikuti dengan hari ke-5 pengoperasian, hal ini menandakan mulai bekerjanya lapisan *schmutzdecke*.

Hal ini terjadi dikarenakan jumlah zat organik pada hari pertama pengoperasian memiliki nilai tertinggi selama 5 hari pengoperasian. Sehingga pada hari ke-2 hingga ke-3 mengalami penurunan efisiensi *removal* dikarenakan mikroorganisme sudah terlalu banyak mengonsumsi makanan yang berasal pada air baku, sehingga mikroorganisme mengurangi konsumsinya. Namun pada hari ke-4 hingga hari ke-5 efisiensi *removal* meningkat dimungkinkan karena mikroorganisme dalam masa pertumbuhan dan membutuhkan makanan yang berasal dari air baku.

Pada hari ke-5 pengoperasian efisiensi *removal* pada setiap reaktor merupakan efisiensi tertinggi yaitu, pada reaktor diluar ruangan sebesar 50,33%, reaktor dalam ruangan 63,86%, reaktor dengan LED merah sebesar 99,34% dan reaktor dengan lampu LED biru sebesar 90,33%. Sehingga rata-rata efisiensi terbesar yaitu terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah yaitu sebesar 90,09% dan efisiensi terendah pada reaktor luar ruangan yaitu sebesar 32,14%.

Pada pengoperasian SSF selama 3 hari terlihat mengalami penurunan efisiensi *removal*. Namun pada kandungan zat organik pada setiap harinya yang terdapat pada Gambar 4.15 pada tiga hari pengoperasian awal nilai kandungan zat organik pada outlet lebih rendah dibandingkan dengan inlet. Namun tidak serendah pada 2 hari terakhir sehingga tidak terlihat efisiensi yang terlalu besar. Setelah didapatkan nilai penurunan efisiensi dari parameter zat organik pada masing-masing reaktor, kemudian dihitung nilai efektivitasnya. Nilai kontribusi ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari penambahan lampu LED didalam reaktor SSF dengan cara menghitung selisih dari pemakaian lampu LED merah pada SSF yang terdapat pada kolom 4 pada tabel 4.15 dikurangi dengan reaktor kontrol yang terdapat pada kolom 2 sehingga nilai kontribusi dari pemakaian lampu LED merah terlihat pada kolom 5.

Kontribusi reaktor SSF dengan bantuan lampu LED berwarna merah dan biru terhadap reaktor yang berada dalam ruangan namun tidak menggunakan bantuan lampu LED terdapat pada tabel 4.15. menunjukkan rata-rata kontribusi reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah adalah sebesar 33,47% dengan nilai maksimum yaitu sebesar 37,35% pada hari ke-4. Kemudian pada reaktor dengan bantuan lampu LED berwarna biru memiliki nilai rata-rata kontribusi sebesar 25,08% dan memiliki nilai maksimum pada hari ke-4 pengoperasian yaitu sebesar 28,92%.

Adanya nilai maksimum pada hari ke-4 pengoperasian dikarenakan kualitas air baku mengalami peningkatan jika dibandingkan pada hari sebelumnya. Hal tersebut menyebabkan perbedaan efisiensi maupun kontribusi dari masing-masing reaktor dengan nilai outlet yang terdapat pada hari ke-4 lebih baik dibandingkan hari sebelumnya. Hal tersebut menyebabkan selisih yang besar terhadap hasil efisiensi. Kemudian kualitas air kembali mengalami penurunan pada hari ke-5 pengoperasian, sehingga nilai efisiensi maupun kontribusi tidak sebesar hari ke-4.

Pada penggunaan reaktor SSF pada parameter zat organik dalam variasi laju kecepatan $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ didapatkan bahwa dengan penggunaan lampu LED biru yang ditambahkan pada reaktor dapat menghasilkan efisiensi sebesar 81,70% dengan efektivitas penggunaan lampu LED biru tersebut adalah sebesar 25,08%. Kemudian dengan penggunaan lampu LED merah pada SSF didapatkan nilai rata-rata efisiensi penurunan parameter zat organik yaitu sebesar 90,09% dengan nilai kontribusi dari penambahan lampu LED merah terhadap reaktor sebesar 33,47%.

4.4.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan total *coliform*

Pada pengujian parameter total *coliform* dilakukan selama 5 hari masa pengoperasian reaktor, analisis kandungan *total coliform* sama dengan analisis parameter sebelumnya yaitu dengan mengambil sampel air pada outlet pada masing-masing reaktor dan inlet pada air baku. Tabel 4.16 menunjukkan penurunan total *coliform* dalam outlet masing-masing reaktor.

Dalam tabel 4.16 berikut menunjukkan terjadinya penurunan bertahap hingga hari terakhir pengoperasian. Pada hari ke-1 pengoperasian jumlah total *coliform* terbesar berjumlah 410/100 mL sampel yang dimiliki oleh kontrol luar ruangan, dengan kandungan pada inlet sebesar 2400/100 mL sampel. Sedangkan, pada akhir aklimatisasi MPN terbesar yaitu sebesar 110/100 mL sampel pada kontrol luar dengan kandungan yang terdapat pada inlet sebesar 2500/100 mL sampel.

Tabel 4.16 Efisiensi *Removal* terhadap total *coliform* dengan kecepatan 0,2 m³/m².jam

Hari ke -	Total <i>coliform</i> inlet (/100 mL sampel)	total <i>Coliform</i> pada Outlet							
		Kontrol Luar (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (/100 mL sampel)	Efisiensi Filter (%)
1	2400	410	82,92	210	91,25	31	98,71	41	98,30
2	3000	300	90,00	140	95,34	25	99,17	38	98,74
3	2400	160	93,34	110	95,42	19	99,21	28	98,84
4	2600	140	94,62	80	96,93	13	99,50	14	99,47
5	2500	110	95,60	50	98,00	6	99,76	12	99,52
Rata-Rata efisiensi			91,30		95,39		99,27		98,97

Tabel 4.17 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Total <i>coliform</i> Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	LED merah (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	210	91,25	31	98,71	7,46	41	98,30	7,05
2	140	95,34	25	99,17	3,83	38	98,74	3,4
3	110	95,42	19	99,21	3,79	28	98,84	3,42
4	80	96,93	13	99,50	2,57	14	99,47	2,54
5	50	98,00	6	99,76	1,76	12	99,52	1,52
Rata-rata kontribusi reaktor					3,88			3,59

Jumlah total *coliform* terendah terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 64/100 mL yang terdapat pada hari terakhir pengoperasian, dengan kandungan pada inlet sebesar 2500/100 mL sampel. Efisiensi masing-masing reaktor perharinya dapat dilihat bahwa reaktor kontrol diluar ruangan maupun didalam ruangan efisiensi *removal* total *coliform* masih belum stabil hingga hari ke-3 pengoperasian. Kemudian setelah hari ke-3 hingga hari ke-5 pengoperasian efisiensi *removal* mulai stabil. Ketidakstabilan pada awal pengoperasian dikarenakan reaktor baru dijalankan setelah pergantian kecepatan sehingga penurunan efisiensi *removal* belum stabil.

Pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan biru sudah mulai stabil pada hari ke-2 hingga hari ke-5 pengoperasian, hal ini dapat disebabkan sudah stabilnya lapisan *schmutzdecke* sejak awal pengoperasian. Pada lapisan *schmutzdecke* terdiri dari protozoa, bakteri, mikroorganisme yang menggunakan bahan organik sebagai bahan baku dan pada ganggang menghasilkan zat berbahaya pada bakteri, sehingga mengurangi jumlah *e.coli* dan *pathogen* dalam air (Huisman, 1974). Konstannya efisiensi *removal* total *coliform* yang terjadi dikarenakan oleh perkembangan lapisan biofilm yang terus terjadi pada media filter.

Pada kecepatan 0,2 m³/m².jam kestabilan dari efisiensi setiap reaktor lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya, yaitu dimulai pada hari ke-3 efisiensi *removal* reaktor sudah mulai stabil. Hal ini dikarenakan waktu kontak media dengan air baku semakin lama sehingga menyebabkan proses pematangan biofilm semakin meningkat. Sehingga pematangan biofilm tersebut dapat menunjang peningkatan daya saring bakteri pada reaktor. Rata-rata efisiensi *removal* tertinggi dimiliki oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah sebesar 99,27% diikuti 98,97% pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru.

Setelah didapatkan nilai efisiensi *removal* parameter total *coliform* pada masing-masing reaktor dalam kelima hari pengoperasian, didapatkan nilai kontribusi dari masing-masing reaktor. penentuan kontribusi lampu LED ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan lampu LED merah/biru terhadap reaktor tanpa bantuan lampu. Penentuan ontribusi reaktor ini didapatkan dengan menghitung selisih dari efisiensi *removal* reaktor dengan menggunakan lampu LED biru/merah yang terdapat pada Tabel 4.17 dalam kolom 4/7 dengan reaktor tanpa bantuan lampu yang terdapat pada kolom 2, sehingga hasil kontribusi penggunaan lampu LED merah/biru terlihat pada kolom 5/8.

Pada Tabel 4.17 menunjukkan kontribusi dari penggunaan lampu LED merah biru dalam reaktor SSF terhadap reaktor yang tidak menggunakan lampu LED, dan berada dalam ruangan. Pada tabel dapat terlihat bahwa nilai rata-rata kontribusi dari reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah adalah sebesar 3,88% dengan nilai maksimum kontribusi penggunaan lampu LED terdapat pada hari ke-1 pengoperasian yaitu sebesar 7,46%. Kemudian pada reaktor dengan bantuan lampu LED biru memiliki nilai rata-rata kontribusisebesar 3,59% dengan nilai maksimum pada pengoperasian hari ke-1 yaitu 7,05%

Pada pengoperasian dengan laju filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terlihat bahwa rata-rata efisiensi lebih baik dengan menggunakan bantuan lampu LED. Hal ini dikarenakan menurut Huisman (1974), mikroorganisme yang terdapat pada lapisan *schmutzdecke* membutuhkan cahaya, terutama pada mikroorganisme dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Hal tersebut menyebabkan pada unit SSF tanpa bantuan lampu LED mikroorganisme ini akan mengalami degradasi bahan organik pada malam hari serta penurunan kadar oksigen.

Pada reaktor dengan menggunakan lampu LED, lampu LED dinyalakan selama 24 jam atau selama masa pengoperasian, sehingga mikroorganisme mendapatkan kebutuhan cahaya baik siang maupun malam hari. Pada lampu LED berwarna merah memiliki Panjang gelombang 610-760 nm, dengan panjang

gelombang tersebut warna merah merupakan salah satu yang paling efektif diserap oleh klorofil dan dalam aktivitas fotosintesis tumbuhan perairan, salah satunya mikroalga (Marwa, 2014).

Terlihat bahwa rata-rata parameter pada setiap reaktor pada kecepatan filtrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ mengalami penurunan pada hari ke-3 dan kemudian mengalami peningkatan pada hari ke-4. Hal ini disebabkan oleh kualitas air baku yang masuk pada inlet lebih rendah dibandingkan dengan hari sebelumnya, sehingga mengakibatkan pada efisiensi *removal* setiap parameter menurun.

4.5 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{am}$

Setelah melakukan kecepatan laju fitrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ selama 5 hari dilanjutkan dengan variasi kecepatan filtrasi ketiga yaitu dengan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ selama 5 hari. Pengaturan kecepatan ini dilakukan secara manual dengan perhitungan debit yang masuk dengan menggunakan laju filtrasi sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \text{Laju filtrasi} \times \text{Luas Reaktor} \\ &= 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2. \text{ Jam} \times 0,0081\text{m}^2 \\ &= 0,00081 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,81\text{L}/\text{jam} \\ &= 0,0135 \text{ L/ menit} \\ &= 13,5 \text{ mL}/\text{menit} \end{aligned}$$

Perhitungan debit dengan cara menggunakan *beaker glass* untuk menghitung debit selama 1 menit. Setelah dilakukan pengoperasian dilanjutkan dengan menganalisis pada ketiga parameter yaitu kekeruhan dengan menggunakan metode turbidimetri, kadar zat organik dengan menggunakan metode uji nilai permanganat, dan kandungan total *coliform* dengan menggunakan metode MPN.

4.5.1 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan kekeruhan

Kelima sampel yang telat diambil dari inlet dan keempat masing-masing reaktor di lakukan analisis kekeruhan dnegan menggunakan turbidimetri. Berikut adalah penurunan efisiensi dalam parameter kekeruhan dengan menggunakan kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Efisiensi *Removal* terhadap Kekeruhan dengan Kecepatan 0,1 m³/m².jam

Hari ke -	Kekeruhan Inlet (NTU)	Kekeruhan Outlet							
		Kontrol Luar (NTU)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (NTU)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (NTU)	Efisiensi Filter (%)
1	11	1,3	88,19	0,7	93,64	0,6	94,55	0,6	94,55
2	11	1,20	89,1	0,7	93,64	0,5	95,46	0,55	95
3	10	1,00	90	0,6	94	0,43	95,7	0,48	95,2
4	13	0,98	92,47	0,75	94,24	0,52	96	0,57	95,62
5	14	1,33	90,5	0,88	93,72	0,6	95,72	0,66	95,29
Rata-Rata efisiensi			90,05		93,85		95,49		95,13

Tabel 4.19 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	kekeruhan outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (NTU)	Efisiensi filter (%)	LED merah (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (NTU)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	0,7	93,64	0,6	94,55	0,91	0,6	94,55	0,91
2	0,7	93,64	0,5	95,46	1,82	0,55	95	1,36
3	0,6	94	0,43	95,7	1,7	0,48	95,2	1,2
4	0,75	94,24	0,52	96	1,76	0,57	95,62	1,38
5	0,88	93,72	0,6	95,72	2	0,66	95,29	1,57
Rata-rata Kontribusi reaktor					1,64			1,28

Dalam Tabel 4.18 menunjukkan data yang lebih stabil jika dibandingkan pada variasi sebelumnya. Nilai kekeruhan paling rendah terdapat pada hari ke-1 pengoperasian yaitu sebesar 0,6 NTU yang dimiliki oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan reaktor dengan menggunakan lampu LED biru, dengan nilai kekeruhan pada inlet yaitu sebesar 11 NTU.

Efisiensi pada variasi kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ sudah stabil, terutama pada hari ke-1 hingga hari ke-4 hal ini dikarenakan mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* bekerja secara optimal, namun pada hari ke-5 mulai terjadinya penurunan. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kualitas air baku pada hari ke-5 yaitu sebesar 14 NTU, dibandingkan dengan ke-4 hari sebelumnya nilai kekeruhan pada hari ke-5 adalah yang tertinggi. Sehingga nilai efisiensi *removal* outlet reaktor mengalami penurunan. Serta telah optimalnya mikroorganisme pada hari ke-4 sehingga terjadi masa jenuh pada fase mikroorganisme sehingga mulai terjadinya *clogging*. *Clogging* pada reaktor SSF disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* yang telah terlalu banyak dan menumpuk sehingga ketahanan pada lapisan filter semakin rendah disebabkan oleh tergerusnya lapisan biofilm oleh aliran laju filtrasi yang tidak melekat pada lapisan *filter bed* (Huisman, 1974).

Nilai rata-rata efisiensi *removal* tertinggi dalam penurunan parameter kekeruhan terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah yaitu sebesar 95,49%, kemudian diikuti oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru sebesar 95,13%. Terlihat bahwa nilai kekeruhan pada setiap reaktor sangat rendah dibandingkan dengan nilai kekeruhan pada inlet. Hal ini dapat dikarenakan sudah sempurnanya pembentukan *schmutzdecke* pada setiap reaktor. Pada hari ke-5 terlihat bahwa nilai kekeruhan sangat tinggi hal ini menyebabkan air baku yang digunakan lebih keruh jika dibandingkan hari lainnya, sehingga pada keempat reaktor pengurangan nilai kekeruhan belum maksimal.

Kemudian setelah didapatkan nilai efisiensi removal pada masing-masing parameter dilanjutkan dengan menghitung nilai efektivitas. Perhitungan nilai kontribusi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan lampu LED biru/merah didalam reaktor SSF. Sehingga nilai kontribusi didapatkan dengan cara menghitung selisih dari efisiensi *removal* reaktor SSF dengan bantuan lampu LED biru/merah yang pada kolom 4/7 yang terdapat pada tabel 4.19 dikurangi dengan reaktor tanpa bantuan lampu LED didalam suatu ruangan yang sama yang terdapat pada kolom 2, sehingga dihasilkan besar kontribusi dari penggunaan lampu LED merah dan biru terdapat pada kolom 5 dan kolom 8.

Perbandingan kontribusi pada Tabel 4.19 Terlihat pada tabel bahwa rata-rata nilai kontribusi lampu LED yang terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 1,64% dengan nilai maksimum kontribusi terdapat pada hari ke-5 pengoperasian. Kemudian pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru memiliki nilai rata-rata kontribusi lampu LED sebesar 1,28% dengan nilai maksimum kontribusi penggunaan lampu LED sebesar 1,57% pada hari ke-5 pengoperasian.

4.5.2 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan zat organik

Pada pengoperasian variasi laju filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ dilakukan analisis pada parameter zat organik ini berikut data penurunan zat organik setiap masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.20. Dalam tabel 4.20 terlihat mulai stabilnya penurunan jumlah kandungan zat organik, sehingga kandungan zat organik terendah terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 1,57 mg/L dengan nilai inlet sebesar 32,94 mg/L. Namun, pada hari ke-5 masing-masing reaktor mengalami kenaikan kandungan zat organik seperti pada reaktor dalam ruangan pada hari ke 3 kandungan zat organik adalah 13,43 mg/L. Sedangkan pada hari ke-5 kandungan zat organik naik hingga 16,43 mg/L atau penurunan efisiensi sebesar 19,47%.

Tabel 4.20 Efisiensi *Removal* terhadap zat organik dengan kecepatan 0,1 m³/m².jam

Hari ke -	Zat organik inlet (mg/L)	Zat organik dalam outlet							
		Kontrol Luar (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Merah (mg/L)	Efisiensi Filter (%)	LED Biru (mg/L)	Efisiensi Filter (%)
1	37,15	29,94	19,4	24,84	33,14	3,67	90,12	4,87	86,88
2	35,19	26,19	25,59	20,94	40,52	2,47	92,98	3,52	89,99
3	32,94	23,49	28,71	16,43	50,12	1,57	95,23	2,47	92,5
4	35,04	22,44	35,98	13,43	61,68	1,87	94,66	3,67	89,52
5	28,44	23,04	19	16,43	42,23	3,82	86,56	5,02	82,34
Rata-Rata efisiensi		25,74		45,54		91,91		88,25	

Tabel 4.21 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Zat Organik Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (mg/L)	Efisiensi filter (%)	LED merah (mg/L)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (mg/L)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	24,84	33,14	3,67	90,12	56,98	4,87	86,88	53,74
2	20,94	40,52	2,47	92,98	52,46	3,52	89,99	49,47
3	16,43	50,12	1,57	95,23	45,11	2,47	92,5	42,38
4	13,43	61,68	1,87	94,66	32,98	3,67	89,52	27,84
5	16,43	42,23	3,82	86,56	44,33	5,02	82,34	40,11
Rata-rata Kontribusi reaktor					46,37			42,71

Terlihat pada Tabel 4.20 reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah dan biru mengalami peningkatan efisiensi *removal* hingga hari ke-3 pengoperasian, hal ini terlihat bahwa pada hari ke-3 pengoperasian nilai efisiensi tertinggi terdapat pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah 95,23%. Namun, dimulainya hari ke-4 hingga hari ke-5 reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah dan biru mengalami penurunan efisiensi *removal*, seperti pada reaktor dengan menggunakan lampu LED biru pada hari ke-3 memiliki nilai efisiensi sebesar 89,52% kemudian efisiensi menurun hingga 82,34%. Hal ini disebabkan oleh efisiensi penurunan pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan LED biru sudah mencapai kondisi paling optimum pada hari ke-3 hal ini dikarenakan mikroorganisme sudah banyak mengkonsumsi makanan yang berasal dari air baku, sehingga mikroorganisme pada hari berikutnya hanya memakan sedikit sehingga pada hari berikutnya efisiensi *removal* menurun.

Pada reaktor kontrol diluar ruangan maupun didalam ruangan efisiensi *removal* mengalami peningkatan hingga hari ke-4 pengoperasian, namun pada hari ke-5 pengoperasian mengalami penurunan sebanyak 16,98% pada reaktor kontrol diluar ruangan pada hari ke-5. Penurunan efisiensi pada masing-masing reaktor disebabkan mulai terjadinya *clogging*, *Clogging* pada reaktor SSF disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme pada lapisan *schmutzdecke* yang telah terlalu banyak dan menumpuk sehingga ketahanan pada lapisan filter semakin rendah disebabkan oleh tergerusnya lapisan biofilm oleh aliran laju filtrasi yang tidak melekat pada lapisan *filter bed* (Huisman, 1974).

Perbandingan kandungan zat organik pada 5 hari masa pengoperasian. Pada hari ke-5 walaupun terjadi penurunan efisiensi *removal*, namun kandungan zat organik pada inlet masih lebih besar dibandingkan nilai outlet setiap reaktor.

Setelah mendapatkan nilai efisiensi *removal* dari masing-masing reaktor SSF kemudian didapatkan jumlah kontribusi dari penggunaan lampu LED. Penentuan kontribusi penggunaan lampu LED ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari penggunaan lampu LED biru ataupun merah didalam reaktor SSF. Besar pengaruh penggunaan lampu LED merah diketahui dengan mendapatkan selisih dari penggunaan dengan reaktor kontrol, terlihat pada tabel 4.21 kolom 2 nilai efisiensi reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dikurangi dengan nilai efisiensi kontrol dalam pada kolom 2 sehingga dihasilkan kontribusi dari penggunaan lampu LED merah pada kolom 5.

Pada Tabel 4.21 menunjukkan jumlah kontribusi dari pengaruh penggunaan lampu LED merah dan biru terhadap reaktor kontrol dalam ruangan tanpa bantuan lampu LED. Nilai rata-rata kontribusi pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah yaitu sebesar 46,37%. Kemudian rata-rata kontribusi dari penggunaan lampu LED pada reaktor SSF adalah sebesar 42,71%.

4.5.3 Pengaruh penggunaan lampu LED berwarna pada kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terhadap efisiensi penurunan total *coliform*

Pada variasi laju filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{am}$ dilakukan Analisa pada kandungan total *coliform* yang terdapat pada sampel air. Dalam tabel 4.22 menunjukkan penurunan total *coliform* dalam outlet masing-masing reaktor.

Dalam tabel 4.22 terlihat bahwa data mulai stabil pada setiap reaktor terutama pada keempat hari pengoperasian. Kandungan total *coliform* terendah pada variasi kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ adalah pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna merah yaitu sebesar 2/100 mL sampel yaitu pada hari ke-3 pengoperasian dengan kandungan total *coliform* pada inlet sebesar 2600/100 mL sampel. Pada hari ke-5 pengoperasian, kandungan total *coliform* pada masing-masing reaktor mengalami peningkatan. Seperti pada reaktor kontrol didalam ruangan pada hari ke-4 memiliki jumlah total *coliform* 150/100 mL sampel, namun pada hari ke-5 meningkat menjadi 190/100 mL sampel.

Tabel 4.22 Efisiensi *Removal* terhadap total *coliform* dengan kecepatan 0,1 m³/m².jam

Hari ke -	Total <i>coliform</i> inlet (/100 mL sampel)	total <i>Coliform</i> pada Outlet							
		Kontrol Luar (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	LED Merah (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)	LED Biru (/100 mL sampel)	Efisiensi (%)
1	4100	260	93,66	160	96,10	7	99,83	6	99,86
2	2800	190	93,22	110	96,08	3	99,90	4	99,86
3	2600	210	91,93	120	95,39	2	99,93	9	99,66
4	2600	220	91,54	130	95	8	99,70	13	99,50
5	2400	210	91,25	130	94,59	12	99,30	17	99,13
Rata-Rata efisiensi			92,32		95,43		99,73		99,60

Tabel 4.23 Kontribusi Reaktor dengan bantuan lampu LED merah dan Biru terhadap Reaktor Kontrol Dalam

Hari ke-	Total <i>coliform</i> Outlet							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kontrol Dalam (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	LED merah (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Merah (%)	LED biru (/100 mL sampel)	Efisiensi filter (%)	Kontribusi pemakaian lampu LED Biru (%)
1	160	96,10	7	99,83	3,73	6	99,86	3,76
2	110	96,08	3	99,90	3,82	4	99,86	3,78
3	120	95,39	2	99,93	4,54	9	99,66	4,27
4	130	95	8	99,70	4,70	13	99,50	4,5
5	130	94,59	12	99,30	4,71	17	99,13	4,54
Rata-rata Kontribusi reaktor					4,30			4,17

Terlihat efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor. Pada kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ masing-masing reaktor lebih stabil dan konstan dibandingkan pada variasi kecepatan sebelumnya. Terjadi karena dengan kecepatan yang lebih rendah, zat-zat pencemar dalam air baku akan tersaring dan menempel dengan baik pada lapisan *schmutzdecke* dikarenakan waktu kontak yang lebih lama dengan media *geotextile* dan media pasir.

Rata-rata reaktor SSF mulai mengalami penurunan efisiensi *removal* pada hari ke-4 hingga hari ke-5 pengoperasian. Hal ini disebabkan media filter yang jenuh dalam mengabsorpsi zat pencemar baik zat organik maupun mikroorganisme patogen yang terkandung dalam air baku sehingga zat pencemar menjadi lolos Bersama efluen dan menyebabkan turunnya efisiensi *removal*.

Penurunan efisiensi *removal* juga dikarenakan mulai terjadinya *clogging*, menyebabkan adanya penumpukan zat organik pada media filter yang sudah jenuh mengabsorpsi zat pencemar dan menghasilkan lolosnya partikulat. Sehingga reaktor tidak dapat menurunkan efisiensi *removal* secara optimal dan mempengaruhi kerja reaktor. Terlihat pada hari ke-5 penurunan efisiensi *removal* pada setiap reaktor.

Pada variasi kecepatan $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ rata-rata efisiensi *removal* tertinggi terdapat pada reaktor dengan menggunakan bantuan lampu LED berwarna merah yaitu sebesar 99,73%, dan efisiensi *removal* terendah terdapat pada reaktor kontrol diluar ruangan yaitu sebesar 92,32%.

Kemudian pada tabel menunjukkan walaupun terjadinya penurunan tidak menyebabkan kemampuan dari keempat reaktor dalam menurunkan kandungan total *coliform* menghilang, melainkan berkurang hal ini disebabkan oleh kandungan total *coliform* pada inlet hari ke-5 lebih kecil jika dibandingkan dengan kandungan total *coliform* pada keempat hari lainnya.

Adanya penurunan jumlah kandungan total *coliform* pada inlet air baku terhadap outlet masing-masing reaktor disebabkan oleh kombinasi dari kandungan biologis dan proses fisis pada lapisan *schmutzdecke* pada lapisan pasir. Bakteri tersaring diantara rongga-rongga diantara lapisan pasir. Kemudian proses

adsorpsi yang terjadi bisa mengurangi kandungan e.coli dan saling melekat satu dengan lainnya dan mikroba akan mati dikarenakan oleh adanya kelangkaan makanan dan penipisan oksigen (Bagundol, 2013).

Pada Tabel 4.22 didapatkan bahwa kandungan total *coliform* terendah yaitu 2/100 mL sampel yang didapatkan oleh reaktor dengan menggunakan lampu LED. Kemudian pada reaktor dengan menggunakan lampu LED biru jumlah kandungan total *coliform* terendah yaitu sebesar 4/100 mL sampel. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Air Minum kadar batas maksimum parameter total bakteri *coliform* pada air adalah 0. Oleh sebab itu pada akhir pengoperasian nilai outlet belum memenuhi standar baku mutu.

Dikarenakan belum terpenuhinya standar baku mutu parameter total bakteri *coliform* pada masing-masing reaktor SSF, sehingga perlu dilakukan pengolahan tahap lanjutan yaitu desinfeksi. Desinfeksi merupakan metode dengan memberikan perlakuan fisik pada mikroba, yaitu panas dan cahaya (Masduqi, 2012). Pada proses Desinfeksi dalam skala kecil dapat dilakukan dengan metode pemanasan, namun dalam skala besar lebih baik menggunakan bagian dari sinar matahari sinar ultraviolet.

Adapun jenis desinfeksi yang dapat menurunkan mikroba seperti e.coli, yaitu dengan menggunakan ozon. Menurut Sari (2014), dalam penelitian menggunakan jenis desinfektan yaitu ozon, menggunakan ozone generator dapat memproduksi ozon menggunakan lucutan listrik yang dapat memecah molekul O₂ menjadi O. dalam penelitiannya, ozone generator dapat secara efektif menurunkan beban organik 29%.

Pada proses ozonasi ozon akan merusak dinding sel mikroba dan akan menyebabkan terjadinya lisis (*cell lisis*) dan mikroba akan mati. Efek membunuh bakteri pada ozonasi dan spora lebih cepat 300-3000 kali dibandingkan dengan menggunakan klor, serta diperlukan waktu kontak yang lebih singkat (Masduqi, 2012).

Setelah mendapatkan nilai efisiensi penurunan pada parameter total *coliform* pada masing-masing reaktor kemudian didapatkan nilai efektivitasnya. jumlah kontribusi penggunaan lampu LED ini diketahui untuk mengukur kemampuan dari penambahan lampu LED biru/merah dalam menurunkan parameter total *coliform* didalam reaktor SSF. Jumlah kontribusi dari penggunaan lampu LED ini didapatkan dengan menghitung selisih dari efisiensi reaktor dengan menggunakan batuan lampu LED merah ataupun biru pada kolom 5 atau 7 yang terdapat pada kolom 4.23 dikurangi dengan reaktor tanpa bantuan lampu yang terdapat pada kolom 2 didalam suatu ruangan yang sama, sehingga didapatkan pengaruh dari penggunaan lampu LED merah dan biru pada kolom 6 dan 8.

Hasil kontribusi pengaruh penggunaan lampu LED merah dan biru terhadap reaktor SSF tanpa menggunakan bantuan lampu LED dan berada di dalam ruangan terdapat pada Tabel 4.23. pada Tabel 4.23 terlihat jumlah rata-rata kontribusi dari penggunaan LED merah yaitu sebesar 5,64% dengan jumlah kontribusi maksimum sebesar 7,21% pada pengoperasian hari ke-5. Kemudian pada reaktor dengan menggunakan lampu LED berwarna biru memiliki rata-rata kontribusi sebesar 5,51% dengan kontribusi dari penggunaan lampu LED maksimum sebesar 7,04% yang terdapat pada pengoperasian hari ke-5.

Pada pengoperasian dengan laju filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ terlihat bahwa rata-rata efisiensi lebih baik dengan menggunakan bantuan lampu LED. Hal ini dikarenakan menurut Huisman (1974), mikroorganisme yang terdapat pada lapisan *schmutzdecke* membutuhkan cahaya, terutama pada mikroorganisme dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Hal tersebut menyebabkan pada unit SSF tanpa bantuan lampu LED mikroorganisme ini akan mengalami degradasi bahan organik pada malam hari serta penurunan kadar oksigen.

Pada reaktor dengan menggunakan lampu LED, lampu LED dinyalakan selama 24 jam atau selama masa pengoperasian, sehingga mikroorganisme mendapatkan kebutuhan cahaya baik siang maupun malam hari. Pada lampu LED berwarna merah

memiliki Panjang gelombang 610-760 nm, dengan panjang gelombang tersebut warna merah merupakan salah satu yang paling efektif diserap oleh klorofil dan dalam aktivitas fotosintesis tumbuhan perairan, salah satunya mikroalga (Marwa, 2014). Setelah melakukan pengoperasian dengan variasi laju filtrasi 0,1 m³/m².jam dilakukan pengecekan pada permukaan lapisan geotextile, terlihat pada lampiran 7.

4.5 Perbandingan antar variasi penelitian terhadap efisiensi penurunan kekeruhan, zat organik, dan total coliform

Pada penelitian ini dilakukan dua variasi yaitu warna lampu LED dan kecepatan filtrasi. Berikut variasi yang dimaksud:

1. Warna lampu LED : LED biru dan LED merah
2. Kecepatan filtrasi : (0,1; 0,2; 0,3) m³/m².jam

Data hasil analisis dengan ketiga kecepatan filtrasi yang kemudian dibandingkan pada Tabel 4.16

Tabel 4.24 Rata-Rata Efisiensi Penurunan Filter

Parameter	Efisiensi <i>removal</i> filter (%)					
	Kontrol Luar			Kontrol Dalam		
	1	2	3	1	2	3
Kekeruhan	75,24	86,82	90,05	81,85	89,76	93,85
Zat organik	11,98	32,14	25,74	27,09	56,62	45,54
Total <i>Coliform</i>	80,79	91,30	92,32	82,79	95,39	95,43
Parameter	Efisiensi <i>removal</i> filter (%)					
	LED merah			LED biru		
	1	2	3	1	2	3
Kekeruhan	87,22	93,59	95,49	84,45	92,62	95,13
Zat organik	87,36	90,09	91,91	81,67	81,70	88,25
Total <i>Coliform</i>	94,03	99,27	99,73	92,89	98,97	99,60

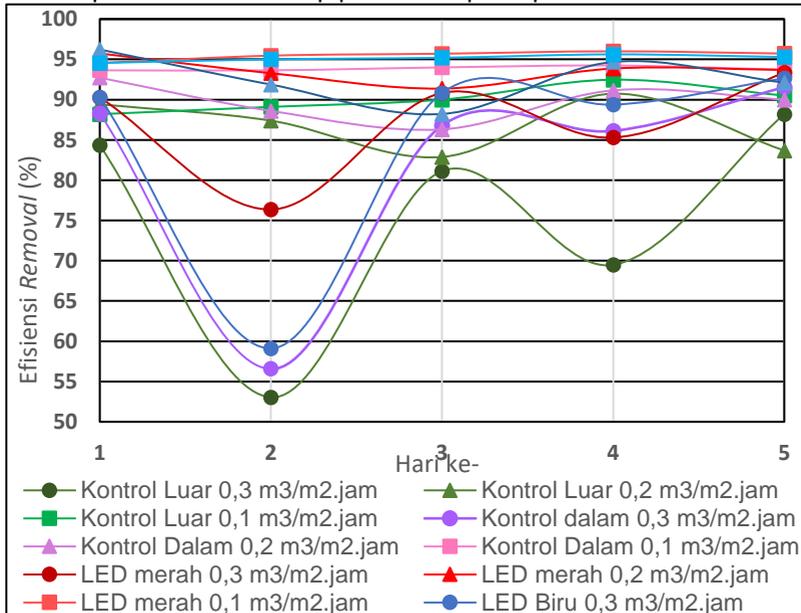
- *Keterangan:
- 1 = Kecepatan filtrasi 0,3 m³/m².jam
 - 2 = Kecepatan filtrasi 0,2 m³/m².jam
 - 3 = Kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam

Berdasarkan tabel 4.16 sebagian besar dari masing-masing parameter dalam seluruh reaktor mengalami kenaikan efisiensi *removal*. Namun masih belum stabil kenaikan efisiensi disebabkan beberapa faktor yaitu belum stabilnya lapisan *schmutzdecke* yang terbentuk dan berfluktuatifnya kualitas air

baku yang akan diolah setiap harinya. pada pengoperasian dengan ketiga kecepatan 0,3 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,1 m³/m².jam.

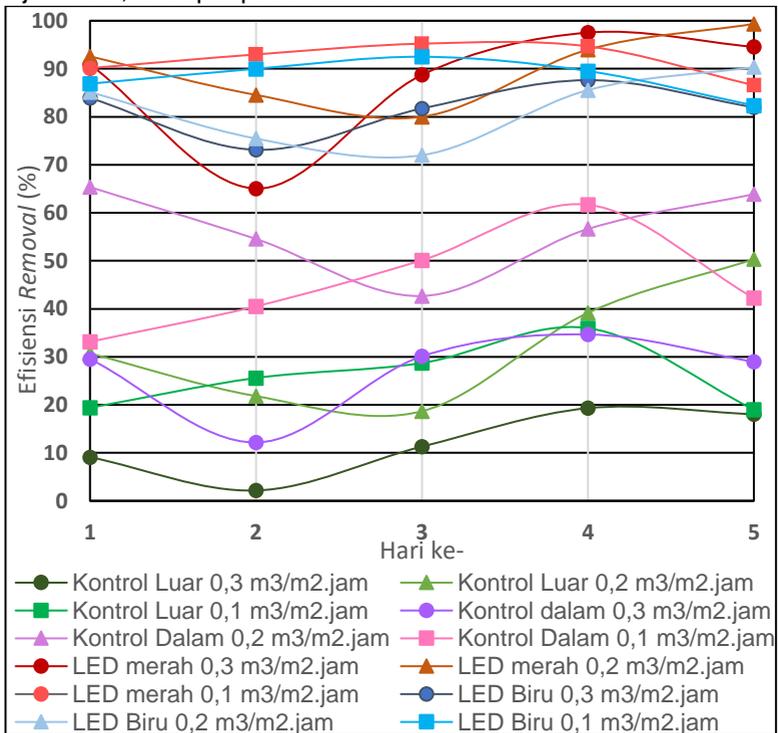
Efisiensi penurunan setiap parameter pada rata-rata reaktor pada kecepatan 0,1 m³/m².jam memiliki penurunan efisiensi yang lebih baik dibandingkan 0,2 m³/m².jam dan 0,3 m³/m².jam. Hal ini disebabkan tingginya laju aliran akan meningkatkan pergerakan debit air yang akan melalui rongga-ranga pada partikel pasir dan meningkatkan kemungkinan untuk terjadinya adsorpsi pada partikel (Furtner, 2006). Kemudian penelitian yang dilakukan oleh wohanka (1999) menyebutkan bahwa efisiensi pada filter menurun seiring dengan meningkatnya laju filtrasi.

Berikut adalah efisiensi masing-masing reaktor pada parameter kekeruhan, zat organik, dan total *coliform*. Seperti terlihat pada Gambar setiap parameter pada parameter kekeruhan



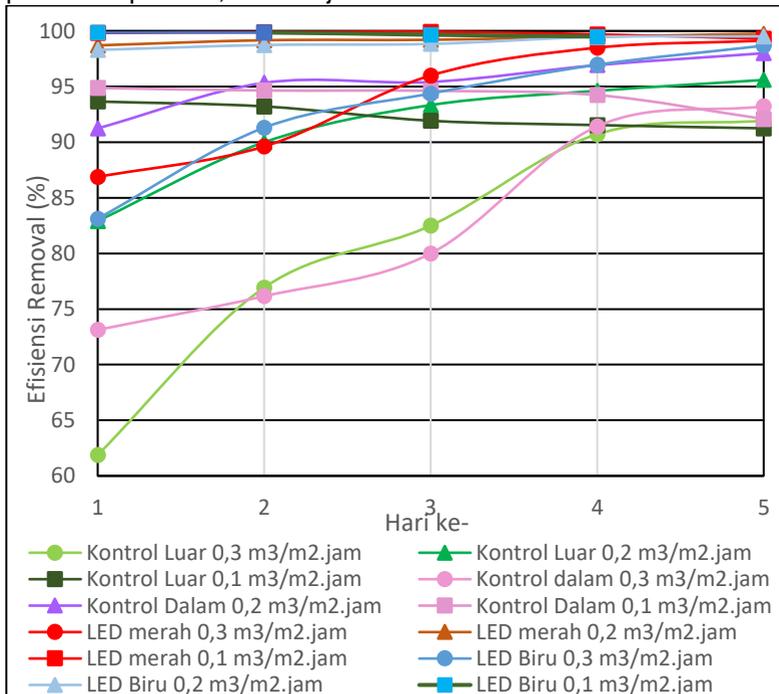
Gambar 4.3 Efisiensi *Removal* penurunan parameter kekeruhan pada masing-masing reaktor SSF

Pada Gambar 4.3 Berikut adalah pada parameter zat organik pada masing-masing reaktor di setiap kecepatan filtrasi, terlihat bahwa pada awal pengoperasian dengan variasi kecepatan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ masing memiliki nilai efisiensi yang berfluktuatif hal ini disebabkan oleh belum stabilnya lapisan *schmutzdecke* pada masing-masing reaktor sehingga nilai efisiensi belum stabil kemudian fluktuatifnya efisiensi *removal* berlanjut pada kecepatan fitrasi $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{am}$. dan kemudian mulai stabil pada kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$. kemudian berikut penurunan parameter zat organik pada masing-masing reaktor SSF dengan ketiga variasi laju filtrasi, terdapat pada Gambar 4.4 berikut



Gambar 4.4 Efisiensi *Removal* penurunan parameter zat organik pada masing-masing reaktor SSF

pada Gambar 4.4 merupakan efisiensi *removal* masing-masing reaktor pada variasi kecepatan filtrasi terhadap parameter zat organik. terlihat bahwa pada masing-masing variasi kecepatan efiseinsi *removal* pada masing-masing reaktor masih berfluktuatif. Hal ini dikarenakan belum stabilnya pertumbuhan mikroorganisme, sehingga terlihat pada awal pengoperasian hingga variasi kecepatan 0,2 m³/m².jam adanya ketidakstabilan efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor dan mulai stabil pada kecepatan filtrasi 0,1 m³/m².jam hal ini disebabkan pertumbuhan mikroorganisme sudah mulai stabil terlihat pada Gambar 4.5 menunjukkan efisiensi *removal* pada parameter total *coliform*. Hal ini dapat menguatkan terjadinya efisiensi *removal* yang lebih stabil pada kecepatan 0,1 m³/m².jam.



Gambar 4.5 Efisiensi *Removal* penurunan parameter total *coliform* pada masing-masing reaktor SSF

Terlihat pada Gambar 4.5 bahwa terdapat efisiensi *removal* masing-masing reaktor dengan variasi kecepatan filtrasi terhadap parameter penurunan total *coliform*. terlihat bahwa pada parameter total *coliform* nilai efisiensi *removal* lebih stabil dibandingkan pada kedua parameter lainnya. Hal ini disebabkan pada masa aklimatisasi efisiensi *removal* pada masing-masing reaktor sudah lebih baik dibandingkan pada parameter zat organik. Pada awal pengoperasian dengan kecepatan $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ nilai efisiensi *removal* masih terus meningkat hal ini disebabkan pada pertumbuhan mikroorganisme pada fase *lag* dan pada fase pertumbuhan logaritmik, dimana sel akan membelah diri dengan laju konstan dan pertumbuhan massa sel menjadi dua kali lipat dan aktifitas metabolik konstan (trihadiningrum, 2012).

Kemudian terlihat bahwa mulai stabilnya efisiensi *removal* penurunan parameter total *coliform* pada kecepatan $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ hingga pertengahan pengoperasian variasi kecepatan filtrasi $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ hal ini disebabkan pertumbuhan mikroorganisme memasuki fase penurunan populasi sel hidup atau disebut fase stationer, ditandai dengan berkurangnya zat nutrisi serta penumpukan produk metabolisme sehingga pertumbuhan relatif konstan. Kemudian pada akhir pengoperasian efisiensi *removal* mengalami penurunan hal ini disebabkan oleh mulai masuknya pertumbuhan mikroorganisme pada fase kematian, yaitu lebih cepat terjadinya kematian sel dibandingkan pembentukan sel baru. Hal ini ditambahkan dengan pengoperasian reaktor secara terus menerus selama 15 hari.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kinerja *slow sand filter* dengan bantuan lampu LED biru dan merah pada pengoperasian laju filtrasi 0,1 m³/m².jam, 0,2 m³/m².jam, dan 0,3 m³/m².jam menghasilkan efisiensi sebagai berikut:
 - Pada parameter kekeruhan reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan biru memiliki rata efisiensi *removal* sebesar 59,11%-96,22%
 - Pada parameter zat organik reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan biru memiliki efisiensi *removal* sebesar 65,06%-99,34%
 - Pada parameter total coliform reaktor dengan menggunakan lampu LED merah dan biru memiliki efisiensi *removal* sebesar 83,13% hingga 99,93%
2. Kontribusi dari penggunaan lampu LED biru dan merah pada masing-masing parameter yaitu pada penggunaan lampu LED biru didapatkan efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 0,91%-3,53%, kemudian pada penurunan efisiensi zat organik sebesar 19,8%-60,96%, dan pada parameter total *coliform* pengaruh dari penggunaan lampu LED biru adalah 1,52%-15,15%. Pada penggunaan lampu LED merah didalam reaktor SSF memiliki kontribusi sebesar 1,81%-5,06% pada efisiensi penurunan kekeruhan, kemudian pada efisiensi penurunan zat organik sebesar 27,22-65,59%, dan pada efisiensi penurunan total *coliform* lampu LED merah memiliki pengaruh sebesar 1,76%-16%.
3. Pada pengoperasian SSF menggunakan bantuan lampu LED merah dan biru didapatkan reaktor SSF dengan menggunakan lampu LED merah lebih baik dibandingkan dengan reaktor SSF dengan menggunakan bantuan lampu LED berwarna biru, dengan menggunakan variasi laju filtrasi 0,1 m³/m².jam.

5.2 **Saran**

Saran yang perlu dilakukan dalam penelitian selanjutnya adalah

1. Dilakukannya aklimatisasi media lebih dari 14 hari untuk mengoptimalkan pembentukan *schmutzdecke*. Kemudian dilakukan analisis *schmutzdecke* untuk mengetahui pembentukan *schmutzdecke* yang dihasilkan dalam unit SSF dengan menggunakan bantuan lampu LED biru dan merah.
2. Masa pengoperasian masing-masing variasi kecepatan dilakukan lebih lama untuk mengetahui kestabilan efisiensi *removal* masing-masing reaktor.
3. Variasi laju kecepatan filtrasi pada penelitian dioperasikan secara bersamaan, hal ini dilakukan agar mendapatkan hasil perbandingan antar reaktor yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimahmoodi, M., Yerushalmi, L., dan Mulligan, N.C. 2012. **Development of Biofilm on Geotextile in A New Multi-zone Wastewater Treatment Systems for Simultaneous Removal COD, Nitrogen and Phosporus.** Bioresource Technology
- Al-Layla M.A, Ahmad S., Middlebrooks J.E., 1978, **Water Supply Engineering Design.** Michigan : Ann Arbor Science Publishers Inc.
- APHA, AWWA. 1998. **Standad Method for Examination of Watwe and Wastewater.** Washington: American Public Health Association 20th Edition
- Astari, R. dan Iqbal, Rafiq. 2009. **Kualitas Air dan Kinerja Unit Pengolahan Di Instalansi Pengolahan Air Minum ITB.** Bandung.
- Boyd, C.E.1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture.** Birmingham Publishing Company, Birmingham, Alabama.
- Celma, 2011, **optical safety of LED lighting.** Federation of national manufacturers association for luminates and electrotechnical components for luminaires in the European union.
- Das, B., Endah, N., Maohtar, dan Indrasurya B. 1985. **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1.** Erlangga: Jakarta
- Dwidjoseputro. 1989. **Dasar-Dasar Mikrobiologi.** Surabaya: Djambatan.
- Fardiaz, S. 1993. **Analisis Mikrobiologi Pangan.** *PT. Raja Grafindo Persada.* Jakarta.
- Fauziah, R. 2013. **Penyediaan Air Minum untuk Masyarakat di Bantaran Kalimas Surabaya.** Surabaya: ITS Press
- Hadi, W. 2012. **Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum.** Surabaya: ITS Press

- Hadioetomo, R.S. 1993. **Mikrobiologi Dasar Dalam Praktek**. Jakarta: Gramedia.
- Herlambang, A. 1996. **Kualitas Air tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi**. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Huisman, L. and Wood, W.E. .1974. **Slow Sand Filtration**. Geneva: World Health Organisation (WHO).
- Khumalasari, D. 2010. **Pengaruh roughing filter dan slow sand filter dalam pengolahan air minum dengan air baku dari intake karangpilang terhadap parameter biologi**. Jurusan Teknik Lingkungan ITS: Surabaya
- Kotha, K. 2001. **Modification of wastewater treatment using geotextiles**. Texas tech university
- Kurniawati, L. 2010. **Pengaruh pencahayaan LED**. Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Lingga. 2011. **Pengaruh cahaya terhadap tumbuhan**. Institut Pertanian Bogor
- Masduqi, A. dan Abdu F. Assomadi. 2012. **Operasi dan proses pengolahan air**. Surabaya: ITS Press
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/ PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum
- Rahmayanti, S. 2012. **Analisis Penggunaan Downflow Slow Sand Filter untuk Pengolahan Air Sumur untuk Menjadi Air Minum dengan Variasi Ketebalan Media dan Kecepatan Filtrasi**. Jurusan Teknik Lingkungan ITS: Surabaya.
- Schulz C.R. and Okun D.A.1984.**General overview of rapid sand filtration**. London : Surface water treatment for communities in developing countries.
- Standfield, G., LeCheballier, M and Snozzi, M. 2003. **Treatment efficiency Assessing microbial safety of drinking water: improvinh approaches ans methods**. London: IWA Publishing

- Stewart-Wade, S.M. 2011. **Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management.**
- Summerfelt, S. 2003. **Ozonisasi dan paparan sinar UV; pendahuluan dan contoh-contoh aplikasi terkini.** Aquaculture Enggining Journal
- Sutedjo. 1991. **Mikrobiologi Tanah.** Jakarta: Rineka Cipta.
- Sutrisno, T. 2006. **Teknologi Penyediaan Air Bersih,** Cetakan Keenam, Jakarta : Rhineka Cipta
- Syafriyudin dan Ledhe, N. 2015. **Analisis pertumbuhan tanaman krisan pada variable warna cahaya lampu LED.** Fakultas Teknologi Industri Institu Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta
- Trihadiningrum, Y. 2012. **Mikrobiologi Lingkungan.** Surabaya: ITS Press
- Van Os, E.A.,1999. **Closed soilless growing systems: a sustainable solution for dutch greenhouse horticulture.** Water Science & Technology.
- Veldhuijzen, V.Z. 1986. **Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering.** New York: John Wiley and Sons
- Yaman, C. 2003. **Geotextile as Biofilm Filters in Wastewater Treatment.** Thesis of Doctor of Philosophy. United State: Drexel University.
- Yuniarti, B. 2007. **Pengukuran tingkat kekeruhan air menggunakan turbidimeter berdasarkan prinsip hamburan cahaya.** Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- Zheng, Y. and Canayan, D. 2012. **Slow sand filter.** Canada: School of environmental science, university of Guelph.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Analisis Kekerusuhan

- Alat dan Bahan
 1. Turbidimeter, HACH turbidimeter 2100 N
 2. Beaker glass 100 mL
 3. Kuvet
 4. Tissue
 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 tampung air bekas bilasan pada beaker glass 100 mL.
 4. Kemudian gunakan *tissue* 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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 2 Tahapan Analisis Total *Coliform*

- Alat dan Bahan
 1. Neraca Analitik
 2. Inkubator
 3. *Auto clave*
 4. Tabung reaksi
 5. Tabung durham
 6. Pipet ukur
 7. Beaker glass 100 mL
 8. Labu pengencer
 9. Jarum Ose
 10. Toples
 11. Erlenmeyer
 12. Kertas Cokelat
 13. Kapas Lemak
 14. Spiritus
 15. Rak tabung reaksi
 16. Karet
 17. Spatula
 18. Air sampel
 19. Aquades
 20. Media Agar
Lactosa Broth (LB)

- Prosedur Pelaksanaan Analisis
 1. Siapkan neraca analitik dan masukkan beaker glass 100 mL ke dalam neraca analitik. Tekan tombol TER untuk membuat nol beaker glass.
 2. Ambil bubuk media *lactosa broth (LB)* menggunakan spatula, masukkan secara perlahan ke dalam beaker glass yang sudah di dalam neraca analitik.
 3. Timbang media agar *lactosa broth (LB)* menggunakan neraca analitik. Berat bubuk *lactosa broth (LB)* yang harus ditimbang untuk menghasilkan 200 mL larutan media agar adalah 2,6 gram.
 4. Tutup neraca analitik, lakukan percobaan pada monitor neraca analitik hingga berat yang dikehedaki muncul.
 5. Setelah proses penimbangan, larutkan bubuk *lactosa broth (LB)* dengan aquades di dalam labu pengencer hingga 200 mL.
 6. Masukkan 10 mL media agar *lactosa 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 agar *lactosa 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 agar *lactosa broth* (LB) pada rak tabung.
14. Siapkan air sampel yang akan dianalisis. Terdapat 3 volume yang akan dimasukkan kedalam 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. Proses memasukkan sampel ke dalam media agar harus dilakukan secara septik, yaitu bekerja di dekat api.
18. Setelah seluruh media terisi sampel, ikat tabung reaksi berdasarkan volume sampelnya.
19. Masukkan 15 tabung reaksi yang sudah diisi sampel ke dalam toples.
20. Tutup toples tersebut menggunakan kertas coklat dan ikat menggunakan karet.
21. Masukkan sampel yang akan dianalisis ke dalam inkubator. Proses inkubasi berlangsung selama 24 jam.
22. Setelah 24 jam, lakukan pengamatan pada gelembung yang terbentuk pada tabung durham yang diletakkan secara terbalik di dalam tabung reaksi.

23. Hitung jumlah tabung yang bergelembung pada setiap volumnya.
24. Lakukan pembacaan jumlah bakteri *coliform* dengan menggunakan tabel residu MPN
25. Catat hasil pembacaan tersebut sebagai data analisis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 3 Tahapan Analisis Permanganat

- Bahan dan alat
 1. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4N yang bebas organik
 2. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
 3. Larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
 4. Pemanas Listrik
 5. Buret 25 mL atau 50 mL
 6. Erlenmeyer 250 mL 1 buah
 7. Gelas ukur 100 mL
 8. Pipet 10 mL, 1 mL
- Prosedur Percobaan
 1. Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur
 2. Tambahkan 2,5 mL asam sulfat 4N bebas organik
 3. Tambahkan beberapa tetes larutan kalium permanganat
 4. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit
 5. Tambahkan 10 mL larutan kalium permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N
 6. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
 7. Tambahkan 1 mL larutan asam oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih
 8. Titrasi dengan kalium permanganate ($KMnO_4$) 0,01 N sampai timbul warna merah muda
 9. Hitung nilai kalium permanganat ($KMnO_4$) dengan menggunakan rumus berikut:

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

Dimana,

a = mL titrasi larutan kalium permanganat ($KMnO_4$)

N = normalitas larutan kalium permanganat

P = Pengenceran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 4 Analisis *Total Plate Count* (TPC)

- Bahan dan Alat
 1. Sampel air
 2. Media NA
 3. Air fisiologis atau air pengencer 0,85%
 4. 1 Botol steril
 5. 3 Cawan petri steril
 6. 6 Tabung reaksi berisi agar tegak NA 10mL
 7. 6 Tabung reaksi berisi 9mL air fisiologis/air pengencer
 8. 2 Pipet 5mL steril
- Prosedur Percobaan
 1. Lakukan semua prosedur dengan steril dan aseptik.
 2. Nyalakan api dengan pembakar bunsen. Lakukan semua prosedur di sekitar nyala api maksimal 10 cm dari nyala api.
 3. Ambil air sampel dengan menggunakan pipet steril masukkan 1 mL dalam tabung reaksi dengan label 10^{-1} yang bersifat air fisiologis 9 mL, kocok hingga homogen.
 4. Ambil air fisiologis pada tabung reaksi 10^{-1} sebanyak 1 mL masukkan dalam tabung reaksi dengan label 10^{-2} , kocok hingga homogen.
 5. Ambil air fisiologis pada tabung reaksi 10^{-2} sebanyak 1 mL masukkan dalam tabung reaksi dengan label 10^{-3} , kocok hingga homogen.
 6. Kemudian ambil masing-masing 0,1mL dari tabung reaksi dengan label $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ ke dalam cawan petri steril dengan label $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ masukkan sesuai dengan label yang tercantum pada tabung reaksi dan cawan petri.
 7. Tuangkan agar tegak NA yang suhunya 45°C (pastikan NA tidak ada yang menggumpal) pada masing-masing cawan petri yang sudah berisi sampel dan campurkan dengan cara menggoyang-goyangnya masing-masing 5x ke arah depan belakang, 5x ke arah kiri-kanan, 5x menurut putaran jarum jam dan 5x menurut arah berlawanan dengan jarum jam.

8. Tunggu hingga NA padat kembali, Setelah media NA padat, balik cawan petri dan bungkus kembali dengan kertas. Simpan pada inkubator.

Jumlah koloni dalam sampel dapat dihitung sebagai berikut,

$$\text{Koloni per mL} = \frac{\text{Jumlah koloni percawan}}{\text{mL sampel pada cawan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Lampiran 5 Hasil pengamatan jumlah koloni pada lapisan *schmutzdecke*

Uji CFU pada setiap reaktor

No.	Reaktor	Coloni
1	Kontrol Luar ruangan (Dengan pengenceran 10^{-2})	
2	Kontrol dalam ruangan (Dengan pengenceran 10^{-2})	
3	LED Merah (Dengan pengenceran 10^{-3})	
4	LED Biru (Dengan pengenceran 10^{-3})	

Dari Hasil perhitungan jumlah koloni dalam sampel dapat dihitung sebagai berikut:

Pada reaktor luar ruangan,

$$\begin{aligned}\text{Koloni per mL} &= \frac{\text{Jumlah koloni percawan}}{\text{mL sampel pada cawan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}} \\ &= \frac{126}{10} \times \frac{1}{10^{-2}} \\ &= 66 \times 10^{-1} \times 10^2 \\ &= 66 \times 10^1 \\ &= 660\end{aligned}$$

$$\text{Log } (66 \times 10^1) = 2,82$$

Hasil log uji CFU yang dapat terlihat pada Tabel 4.8

Hasil log Uji CFU

No.	Reaktor	Koloni	Log
1	Luar ruangan	660	2,82
2	Dalam ruangan	1260	3,1
3	LED merah	9000	3,95
4	LED biru	4400	3,64

Lampiran 6 Daerah pengambilan air sumur

Daerah pengambilan air baku yang terletak pada kelurahan mulyorejo, kecamatan mulyorejo.



Tampak depan air sumur umum



Lingkungan sekitar lokasi pengambilan air sumur

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 7 Reaktor *Slow sand filter*

- Reaktor *slow sand filter*



Tampak depan reaktor SSF yang terletak didalam ruangan



Tampak samping reaktor SSF yang terletak didalam ruangan



Reaktor kontrol pada luar ruangan

- Geotekstil setelah dilakukan aklimatisasi

Tampak atas lapisan *geotextile* pada reaktor luar (a) dan reaktor dalam (b).



(a)

(b)

Tampak atas lapisan *geotextile* pada reaktor dengan menggunakan lampu LED merah (c) dan reaktor dengan menggunakan lampu LED biru (d).



(c)

(d)

- Pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter



(a)

(b)

Pengukuran menggunakan lux meter pada reaktor dengan lampu LED merah (a) dan reaktor dengan lampu LED biru (b).



(c)

(d)

Pengukuran menggunakan lux meter pada reaktor kontrol didalam ruangan (c) dan reaktor kontrol diluar ruangan (d).

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 28 Oktober 1995. Penulis mengenyam Pendidikan di TK assyafiiyah Bekasi, kemudian Pendidikan dasar di SDN Pondok kelapa 05 pagi Jakarta timur 2000-2006. Kemudian dilanjutkan di SMPN 252 Jakarta pada tahun 2006-2009, sedangkan Pendidikan tingkat atas dilalui di SMA Negeri 81 Jakarta pada tahun 2009-2013. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan S1 di

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313100103.

Selama di Jurusan Teknik Lingkungan penulis aktif dalam organisasi himpunan mahasiswa jurusan Teknik lingkungan, dan pada kepengurusan 2014/2015 hingga 2015/2016 menjadi anggota departemen dalam negeri. Penulis mengikuti kegiatan Kerja praktik di PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, selama dua bulan dalam divisi *Quality Assurance* pada tahun 2016, penulis mengikuti pelatihan SMK 3 yang diadakan di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Penulis dapat dihubungi melalui via email vanny.widiyanti@yahoo.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”