

**TUGAS AKHIR**  
**PENGOLAHAN *GREYWATER* MENGGUNAKAN**  
**TEKNOLOGI FILTRASI**

**“Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk  
Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik  
Lingkungan”**



**YUGO DIAN NUGROHO**

**19513143**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**

**2023**

**TUGAS AKHIR**  
**PENGOLAHAN GREYWATER MENGGUNAKAN**  
**TEKNOLOGI FILTRASI**

**“Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk  
Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik  
Lingkungan”**



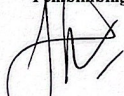
Disusun Oleh:

**YUGO DIAN NUGROHO**

**19513143**

Disetujui,

Pembimbing 1



**Hudori, S.T., M.T., Ph.D**

**NIK. 015130101**

Tanggal : *21 Desember 2023*

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng), Ph.D.**

**NIK. 045130401**

Tanggal : *21/12/2023*

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENGOLAHAN *GREYWATER* MENGGUNAKAN**  
**TEKNOLOGI FILTRASI**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 21 Desember 2023

Disusun Oleh :

**YUGO DIAN NUGROHO**

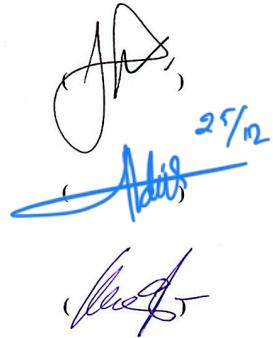
**19513143**

Tim Penguji :

Hudori, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Joni Aldilla Fairi, S.T., M.Eng.

Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.



25/12

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 16 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



**Yugo Dian Nugroho**

NIM: 19513143

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Pengolahan *Greywater* Menggunakan Teknologi Filtrasi”. Tugas akhir ini dilaksanakan dari bulan Maret 2023 hingga bulan Oktober 2023. Tugas Akhir ini merupakan mata kuliah terakhir yang ditempuh mahasiswa untuk menyelesaikan Pendidikan tingkat sarjana di bidang Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Hal yang menjadi perhatian utama penulis dalam penelitian ini adalah mendorong upaya menjaga kualitas air permukaan dengan menggunakan teknologi tepat guna yang dimulai dari pengolahan *greywater* skala rumahan. Melihat kondisi yang ada, tercemarnya air permukaan disekitar kita yang berasal dari *greywater*. Sehingga, penelitian ini dapat diharapkan bisa dijadikan sebagai acuan untuk mengolah *greywater* dengan menggunakan teknologi tepat guna dan tetap bisa menjaga kualitas air permukaan.

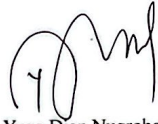
Selama proses penyusunan tugas akhir ini, terdapat pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis. Pada kesempatan ini, penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan doa untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini.

Dengan tulus hati, ucapan terima kasih dan apresiasi ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT atas semua nikmat dan kemudahan dalam menjalankan proses penelitian ini.
2. Kedua orang tua, Mahyudi dan Sudarmiati yang selalu memberikan doa dan memberikan dukungan kepada penulis.
3. Bapak Hudori, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing pertama bagi penulis .
4. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku penguji pertama bagi penulis.
5. Bapak Dr.Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku penguji kedua bagi penulis.
6. Segenap dosen dan pengajar di Program Studi Teknik Lingkungan UII.
7. Bapak Heriyanto, A.Md. dan Ibu Ratna Widiastuti, S.Kom. selaku admin Program Studi Teknik Lingkungan UII.
8. Staf Laboratorium Teknik Lingkungan UII yang telah membantu kelancaram penelitian.
9. Bapak Purwanto dan Ibu Hening selaku pemilik Kost Al-Fazza.
10. Fia Ananda Amatullah yang telah membantu sejak awal perkuliahan sampai dengan penulisan skripsi ini selesai.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun serta penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 16 Oktober 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'Y' followed by a series of loops and a vertical stroke.

Yugo Dian Nugroho

NIM: 19513143



## ABSTRAK

YUGO DIAN NUGROHO. *Pengolahan Greywater Menggunakan Teknologi Filtrasi. Dibimbing oleh Hudori S.T., M.T., Ph.D.*

Manusia dalam aktivitas sehari-harinya menghasilkan limbah, baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Contohnya seperti kost di sekitaran Universitas Islam Indonesia yang berpotensi menghasilkan air limbah baik *blackwater* maupun *greywater*. *Blackwater* yang berasal dari kegiatan Kost sudah memiliki teknologi pengolahan yaitu *septic tank*. Sedangkan *greywater* saat ini belum ada teknologi pengolahan yang dilakukan, sehingga *greywater* langsung dibuang ke saluran drainase kota. Dari beberapa teknologi yang sudah ada, filtrasi adalah teknologi yang terpilih berdasarkan beberapa pertimbangan seperti biaya, pemeliharaan dan efisiensi. Penelitian ini bertujuan untuk Mengevaluasi kemampuan teknologi filtrasi dengan kombinasi media silika, zeolite, dan karbon aktif untuk pengolahan *Greywater* dalam menurunkan parameter TSS, BOD, dan COD. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai konsentrasi COD terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 32,5 mg/L dengan efektifitas 69%. Nilai konsentrasi BOD terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 5,7 mg/L dengan efektifitas 21%. Nilai konsentrasi TSS terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 6,5 mg/L dengan efektifitas 89 %. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa filtrasi yang paling efektif yang memiliki ketebalan media paling tinggi.

Kata Kunci: COD, BOD, TSS, Filtrasi, *Greywater*, Karbon Aktif, Silika



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ***ABSTRACT***

YUGO DIAN NUGROHO. *Greywater Treatment Using Filtration Technology.*  
*Mentored by Hudori S.T., M.T., Ph.D.*

*In their daily lives, humans produce waste in the form of solid waste or liquid waste. For example, boarding houses around the Islamic University of Indonesia have the potential to produce wastewater, both blackwater and greywater. Greywater processing technology has been widely used. Of the several existing technologies, filtration is the technology chosen based on several considerations such as cost, maintenance and efficiency. This research aims to determine the ability of the filtration method for processing greywater and determine the composition of the best filter media to reduce TSS, BOD, COD parameters. In this research, there are 3 variations in media thickness (silica, zeolite, and activated carbon) that will be used, namely 15 cm, 20 cm, and 25 cm. The results of this research showed that the best COD concentration value at a thickness of 25 cm was 32.5 mg/L with an effectiveness of 69%. The best BOD concentration value at a thickness of 25 cm was 5.7 mg/L with an effectiveness of 21%. The best TSS concentration value at a thickness of 25 cm was 6.5 mg/L with an effectiveness of 89%. Based on the results obtained, it can be concluded that the most effective filtration has the highest media thickness.*

*Keywords: (COD, BOD, TSS), Filtration, Greywater, Activated Carbon, Silica*

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Limbah.....	5
2.2 Sumber Air Limbah.....	6
2.3 Air Limbah Domestik.....	6
2.4 Karakteristik Limbah Domestik.....	7
2.4.1 <i>Blackwater</i> .....	7
2.4.2 <i>Greywater</i> .....	8
2.4.2.1 Karakteristik Fisik.....	10
2.4.2.2 Karakteristik Kimia.....	10
2.4.2.3 Karakteristik Biologi.....	12
2.5 Teknologi Pengolahan <i>Greywater</i> .....	14
2.5.1 Filtrasi.....	14
2.5.2 Constructed Wetland.....	15
2.5.3 Rotating Biological Contactors.....	16

2.5.4 SBR (Sequncing Batch Reactor).....	17
2.5.5 Membrane Bioreactor.....	18
2.5.6 UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	19
2.6 Media Filter.....	20
2.7 Media Pasir.....	21
2.8 Media Karbon Aktif.....	22
2.9 Media Zeolit.....	23
2.10 Studi Terdahulu.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Variabel.....	28
3.2.1 Variabel Tetap.....	28
3.2.2 Variabel Bebas.....	28
3.3 Pembuatan Reaktor.....	28
3.4 Media Filter.....	29
3.5 Proses Pengolahan dan Pengambilan Sampel.....	30
3.7 Prosedur Analisis Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Uji Variasi Media.....	33
4.1.1 Parameter COD ( <i>Chemical oxygen demand</i> ).....	33
4.1.2 Parameter BOD ( <i>Biological oxygen demand</i> ).....	35
4.1.3 Parameter TSS ( <i>Total suspended solid</i> ).....	37
4.2. Pembahasan.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	46

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> <i>Tingkat Timbulan Greywater di Beberapa Negara</i> .....	8
<b>Tabel 2. 2</b> <i>Karakteristik Fisikokimia Greywater di negara berpenghasilan rendah dan tinggi</i> .....	12
<b>Tabel 2. 3</b> <i>Karakteristik Biologis Greywater</i> .....	13
<b>Tabel 2. 4</b> <i>Efisiensi Beberapa Teknologi Pengolahan Greywater</i> .....	20
<b>Tabel 2. 5</b> <i>Studi Terdahulu</i> .....	25
<b>Tabel 3. 1</b> <i>Metode Pengujian</i> .....	32

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1</b> <i>Reaktor Filtrasi</i> .....	28
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Media Filter</i> .....	29
<b>Gambar 3. 3</b> <i>Desain Reaktor</i> .....	31
<b>Gambar 4. 1</b> <i>Grafik Hasil Pengujian Parameter COD</i> .....	33
<b>Gambar 4. 2</b> <i>Grafik Efektivitas Pengujian Parameter COD</i> .....	34
<b>Gambar 4. 3</b> <i>Grafik Hasil Pengujian Parameter BOD</i> .....	35
<b>Gambar 4. 4</b> <i>Grafik Efektivitas Pengujian Parameter BOD</i> .....	36
<b>Gambar 4. 5</b> <i>Grafik Hasil Pengujian Parameter TSS</i> .....	37
<b>Gambar 4. 6</b> <i>Grafik Efektivitas Pengujian Parameter TSS</i> .....	38

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1. 1</b> Tabel Pengujian COD, BOD, dan TSS. ....	46
<b>Lampiran 1. 2</b> Dokumentasi .....	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Manusia dalam kehidupan sehari-harinya menghasilkan limbah, baik dalam bentuk padat maupun cair. Upaya dilakukan untuk memastikan bahwa baik limbah padat maupun cair ini tidak berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Air limbah yang berasal dari aktivitas manusia dapat memiliki dampak fisik, kimia, dan biologis pada lingkungan sekitarnya, sebagaimana disebutkan oleh (Setiyono, 2009).

Pada zaman dahulu, manusia tidak melakukan pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan karena volume air limbah pada waktu itu belum berdampak terhadap lingkungan. Kualitas air limbah juga dapat dipulihkan secara alami melalui proses yang dikenal sebagai *Self Purifications*. Namun, saat ini, seiring berjalannya waktu, pertumbuhan penduduk terus meningkat. Peningkatan pertumbuhan penduduk ini menyebabkan sumber daya air, baik dalam hal kuantitas maupun kualitasnya, semakin menurun.

Air limbah domestik umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu *blackwater* yang berasal dari toilet dan *greywater* yang berasal dari kegiatan seperti mandi, berwudhu, mencuci pakaian, dan aktivitas dapur. Dalam konteks rumah tangga, limbah *greywater* biasanya lebih banyak dihasilkan. *Greywater* memiliki karakteristik umum dengan kandungan unsur-unsur seperti nitrogen, fosfat, dan potasium yang tinggi. Unsur-unsur ini merupakan nutrisi bagi tanaman, sehingga jika *greywater* tidak diolah dan langsung dibuang ke dalam badan air, maka dapat menyebabkan eutrofikasi pada lingkungan air tersebut. Eutrofikasi adalah proses di mana penambahan nutrisi seperti nitrogen dan fosfat menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan dalam badan air. Hal ini dapat mengurangi kualitas air dengan mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air. Akibatnya, organisme hidup di dalam air mungkin tidak dapat berkembang dengan baik atau bahkan mati. (Metcalf and Eddy, 1991)

Pengolahan air limbah domestik telah mengalami perkembangan pesat, dan ada berbagai metode yang dapat diterapkan baik secara individu maupun komunal. Beberapa alternatif pengolahan yang tersedia termasuk fitoremediasi, *constructed wetland*, lumpur aktif, biofilter, *vertical roughing filter*, dan *horizontal roughing filter*. Pilihan alternatif pengolahan dapat disesuaikan dengan karakteristik khusus dari air limbah yang akan diolah.

Pengolahan air limbah menggunakan filter sering diterapkan pada limbah cair dari usaha laundry. Penggunaan filter dengan media seperti karbon, pasir silika, dan zeolit dalam pengolahan limbah cair laundry dapat efektif dalam mengurangi konsentrasi parameter seperti warna, COD (*Chemical oxygen demand*), TSS (*Total suspended solids*), dan mengatur pH limbah. Sebagaimana disebutkan oleh (Setiyono, 2009), perencanaan pengolahan air limbah yang melibatkan filter dengan media berbutir dapat diintegrasikan sebagai bagian tambahan dalam pengelolaan limbah *greywater*. Proses penyaringan media filter ini umumnya dapat dilakukan dalam dua tipe, yakni saringan cepat dan saringan lambat.

Menurut (Siti Reifa Izarna, 2022) perancangan unit filtrasi sederhana untuk limbah cair rumah makan dengan media Silika, Zeolit, dan Karbon Aktif. Pada ketebalan media 15 cm hasil uji awal BOD 500 mg/L setelah dilakukan filtrasi dihasilkan efisiensi penurunan senilai 93,4% menjadi 33 mg/L, hasil uji awal COD 1500 mg/L setelah dilakukan filtrasi dihasilkan efisiensi penurunan senilai 83,86% menjadi 242 mg/L, hasil uji awal TSS 1428 mg/L setelah dilakukan filtrasi dihasilkan efisiensi penurunan senilai 80,11% menjadi 284 mg/L.

Dengan adanya kampus Universitas Islam Indonesia yang berlokasi di Jl. Kaliurang Km. 14,5, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, maka banyak dibangun Kost sebagai tempat tinggal mahasiswa. Kegiatan sehari – hari mahasiswa seperti mandi, mencuci pakaian, mencuci piring, dan memasak memerlukan banyak air bersih. Hal tersebut berpotensi menghasilkan air limbah berupa *blackwater* dan *greywater*. *Blackwater* yang berasal dari kegiatan Kost sudah memiliki teknologi pengolahan yaitu *septic tank*, yang berfungsi untuk memisahkan zat padat dari air limbah serta menguraikan sebagian bahan organik.

Sedangkan *greywater* saat ini belum ada teknologi pengolahan yang dilakukan, sehingga *greywater* langsung dibuang ke saluran drainase kota.

Berdasarkan permasalahan diatas, dirasa perlu untuk dilakukan penelitian tentang teknologi pengolahan *greywater*. Dari beberapa teknologi yang sudah ada, filtrasi adalah teknologi yang terpilih berdasarkan beberapa pertimbangan seperti biaya, pemeliharaan dan efisiensi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang yang sudah ada, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah teknologi filtrasi dapat mengolah *greywater* dengan baik?
2. Apakah pengolahan *greywater* tersebut efektif menurunkan parameter TSS, BOD dan COD?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang ada diatas, maka tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengevaluasi kemampuan teknologi filtrasi dengan kombinasi media silika, zeolite, dan karbon aktif untuk pengolahan *Greywater* dalam menurunkan parameter TSS, BOD, dan COD.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian yang didapatkan sebagai berikut:

1. Memberikan inovasi baru mengenai teknologi tepat guna dalam pengolahan *greywater*
2. Agar dapat menjadi pertimbangan masyarakat dalam mengolah limbah *greywater*

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter yang akan diuji adalah COD, BOD dan TSS
2. Teknologi pengolahan *greywater* yang terpilih adalah filtrasi menggunakan media karbon, aktif, zeolite dan silika.
3. Ketebalan media filtrasi adalah 15 cm, 20 cm dan 25 cm
4. *Greywater* yang diteliti adalah air bekas mandi yang diambil dari lokasi Kost Al – Fazza

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Limbah**

Air limbah ataupun *wastewater* merupakan campuran dari cairan serta sampah-sampah yang berasal dari wilayah permukiman, perdagangan, perkantoran, serta industri (Metcalf and Eddy, 1991). Limbah ini merujuk pada cairan yang dihasilkan serta dibuang lewat saluran pembuangan. Air buangan merupakan sebutan yang digunakan buat menggambarkan cairan buangan yang berasal dari bermacam sumber, tercantum rumah tangga, industri, serta tempat- tempat universal yang lain. Air limbah biasanya memiliki bermacam bahan ataupun zat yang bertabiat beresiko. Bahan- bahan beresiko ini bisa mempunyai akibat negatif pada kehidupan manusia serta pula bisa membahayakan kelestarian area.

Semakin padatnya penduduk membuat permasalahan air limbah menjadi tidak terkontrol lagi. Akibat sudah tidak ada lahan kosong di perkotaan setiap masyarakatnya membutuhkan tempat pembuangan air limbah. Hal tersebut membuat Sebagian besar masyarakat membuang air limbah di badan air contohnya sungai, got dan selokan. Ekosistem air dapat dirusak oleh kandungan senyawa polutan yang berada di dalam air limbah. Air limbah harus dikelola dengan baik agar tidak menyebabkan gangguan pada lingkungan dan sumber daya manusia. (Sugiarto, 2008)

(Scundaria, 2000) menyebutkan bahwa limbah telah kehilangan fungsinya yang membuat kerusakan lingkungan dan mengganggu kenyamanan. Limbah berasal dari kegiatan rumah tangga/domestik dan kegiatan industri. Air limbah domestic berasal dari kegiatan perkantoran, perhotelan dan juga rumah makan. Contoh dari limbah domestic adalah kotoran manusia, air seni, deterjen dan juga sisa kegiatan rumah tangga.

Air buangan pemukiman penduduk berasal dari kegiatan rumah tangga. Air limbah terdiri dari excreta yang berasal dari tinja dan air seni, air deterjen bekas

cucian dan sabun mandi yang mengandung bahan organik. Air tercemar dari kegiatan makhluk hidup secara sengaja ataupun tidak sengaja yang menyebabkan kualitas air menurun dan tidak bisa digunakan Kembali.

## **2.2 Sumber Air Limbah**

Sumber air limbah yang mencemari lingkungan berasal dari berbagai aktivitas manusia dan kemajuan teknologi. Menurut Kusnoputranto (1986), sumber-sumber air limbah ini dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama:

- a. Air Limbah Rumah Tangga (*Domestic Wastewater*), Air limbah dari permukiman atau rumah tangga ini biasanya terdiri dari tinja dan urin, air bekas cucian dapur, dan kamar mandi. Komposisi air limbah rumah tangga umumnya didominasi oleh bahan organik.
- b. Air Limbah Kota praja( *Municipal Wastewater*), Air ini berasal dari wilayah perkotaan, perdagangan, sekolah, tempat ibadah, dan tempat- tempat umum semacam hotel, restoran, serta sejenisnya. Air limbah kotapraja mempunyai karakteristik yang bermacam- macam serta umumnya lebih rumit daripada air limbah rumah tangga. Limbah
- c. Air Limbah Industri, Air limbah industri berasal dari bermacam tipe industri serta dihasilkan sepanjang proses produksi. Air limbah industri cenderung lebih sulit dalam pengolahannya karena dapat mengandung berbagai zat kimia dan kontaminan yang bervariasi tergantung pada jenis industri yang menghasilkannya.

## **2.3 Air Limbah Domestik**

Air limbah domestik adalah cairan atau limbah yang mengandung zat cair yang berasal dari rumah tangga bersamaan dengan air tanah. Limbah cair ini terdiri dari berbagai sumber, seperti air cucian piring, air mandi, dan air limbah dari mesin cuci. Limbah domestik adalah salah satu sumber kontaminasi bagi badan air seperti sungai, danau, laut, dan sebagainya.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah domestik didefinisikan sebagai air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan permukiman seperti real estate, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Air limbah domestik dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu air limbah yang mengandung air buangan tubuh manusia, seperti tinja dan urine (*blackwater*) dan air limbah yang berasal dari kamar mandi, mencakup air bekas cuci tangan, air cucian kamar mandi, dan air cucian baju (*greywater*) (Utuberta, 2014).

## **2.4 Karakteristik Limbah Domestik**

### **2.4.1 *Blackwater***

*Blackwater* adalah jenis air limbah domestik yang berasal dari toilet, urinoir, dan bidet. Pengolahan *blackwater* biasanya melibatkan penggunaan septik tank, yang memiliki efisiensi pengolahan sekitar 65%. Namun, hanya sekitar 22,5% dari total beban polutan organik yang dapat dihilangkan, sedangkan 77,5% sisanya masih terbuang ke lingkungan. Menurut (Sembel, 2015), *Blackwater* yang mencemari lingkungan dapat mengandung berbagai zat berbahaya, termasuk:

1. Mikroba: *Blackwater* dapat mengandung mikroba berbahaya seperti *Salmonella typhi* yang menyebabkan demam tifus, *Vibrio cholerae* penyebab kolera, hepatitis A, dan virus penyebab polio. Tinja manusia dapat mengandung puluhan miliar mikroba, termasuk bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*).
2. Materi organik dalam bentuk sisa dan ampas makanan yang tidak tercerna mencakup karbohidrat, enzim, lemak, mikroba, dan sel-sel mati. Satu liter tinja mengandung materi organik yang setara dengan 200-300 mg BOD5 (kebutuhan oksigen biokimia dalam lima hari). Kandungan BOD yang tinggi ini dapat menyebabkan air mengeluarkan bau tak sedap dan berwarna hitam.



3. Telur Cacing: *Blackwater* juga dapat mengandung telur cacing, yang dapat disebabkan oleh cacing cambuk dan cacing gelang.
4. Nutrien: Umumnya, *blackwater* mengandung senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P) yang dibawa oleh sisa-sisa protein dan sel-sel mati. Nutrien ini dapat menyebabkan masalah eutrofikasi dalam lingkungan air, yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan.

#### 2.4.2 Greywater

*Greywater* didefinisikan sebagai air limbah tanpa kontribusi apa pun dari air toilet (Casanova dkk, 2001, dalam Oteng-Pepurah, 2018). Ini dianggap sebagai air limbah bervolume tinggi dan berkekuatan rendah dengan potensi tinggi untuk digunakan kembali dan digunakan. Komposisi *greywater* bervariasi dan bergantung pada gaya hidup, perlengkapan dan kondisi iklim (Abedin dan Rakib, 2013 dalam Oteng-Pepurah, 2018).

Jumlah *greywater* yang diproduksi dalam suatu rumah tangga bisa sangat bervariasi, mulai dari 15 L per orang per hari di daerah miskin hingga beberapa ratus per orang per hari. Faktor-faktor yang menyebabkan kesenjangan yang begitu besar antara lain disebabkan oleh lokasi geografis, gaya hidup, kondisi iklim, jenis infrastruktur, budaya dan kebiasaan. *Greywater* menyumbang hingga 75% volume air limbah yang dihasilkan rumah tangga, dan jumlah ini dapat meningkat hingga sekitar 90% jika toilet kering digunakan (Hernandez Leal dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018). Diperkirakan juga bahwa produksi *greywater* menyumbang sekitar 69% dari konsumsi air domestik (Jamrah dkk, 2011, dalam Oteng-Pepurah, 2018).

**Tabel 2. 1** *Tingkat Timbulan Greywater di Beberapa Negara*

Wilayah	Timbulan	Referensi
Africa and Middle East	14–161	(Al-Hamaiedeh and Bino, 2010; Halalsheh dkk, 2008; Morel and Diener, 2006, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
Asia	72–225	(Morel and Diener, 2006, dalam Oteng-Pepurah, 2018)

Gauteng, South Africa	20	(Adendorff and Stimie, 2005, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Jordan	50	(Faraqui and Al-Jayyousi, 2002, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Mali	30	(Alderlieste and Langeveld, 2005, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Muscat, Oman	151	(Jamrah dkk, 2008, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Nepal	72	(Shresta, 1999, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Stockholm	65	(Ottoson and Stenstrom, 2003, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Tucson Arizona, USA	123	(Casanova dkk, 2001, dalam Oteng-Peprah, 2018)
Vietnam	80–110	(Busser dkk, 2006, dalam Oteng-Peprah, 2018)

Komposisi *greywater* bervariasi, dan sebagian besar mencerminkan gaya hidup serta jenis dan pilihan bahan kimia yang digunakan untuk mencuci, membersihkan, dan mandi. Kualitas pasokan air dan jenis jaringan distribusi juga mempengaruhi karakteristik *greywater*. Akan terdapat variasi yang signifikan dalam komposisi *greywater* baik di tempat maupun waktu yang mungkin disebabkan oleh variasi penggunaan air sehubungan dengan kuantitas yang dibuang. Komposisi tersebut juga dapat dipengaruhi oleh degradasi kimia dan biologi beberapa senyawa dalam jaringan transportasi dan penyimpanan. Umumnya, *greywater* mengandung konsentrasi tinggi bahan organik yang mudah terurai secara hayati dan beberapa unsur dasar yang sebagian besar dihasilkan dari rumah tangga. Bahan-bahan tersebut termasuk unsur hara seperti nitrat dan semua turunannya, fosfor dan turunannya, namun yang lain termasuk senyawa organik xenobiotik (XOCs) (Fatta-Kassinou dkk, 2011, dalam Oteng-Peprah, 2018) dan mikroba biologis seperti koliform feces, salmonella, dan unsur hidrokimia umum. Namun penelitian terbaru menemukan obat-obatan, produk kesehatan dan kecantikan, aerosol, pigmen logam berat beracun seperti Pb, Ni Cd, Cu, Hg dan Cr (Eriksson dkk, 2010, dalam Oteng-Peprah, 2018) dalam konsentrasi yang cukup besar dalam *greywater*. Kehadiran kontaminan ini dalam *greywater* merupakan indikasi peningkatan bertahap dalam tingkat kompleksitas komposisi *greywater*.

#### 2.4.2.1 Karakteristik Fisik

Ini adalah konstituen yang terkait dengan tampilan fisik *greywater*, antara lain suhu, kekeruhan, konduktivitas listrik, dan padatan tersuspensi. *Greywater* biasanya memiliki kisaran suhu antara 18 dan 35 °C, dan suhu yang agak tinggi mungkin berasal dari air hangat yang digunakan untuk kebersihan pribadi dan aktivitas memasak. Temperatur yang tinggi ini dapat mendukung pertumbuhan mikrobiologi yang tidak diinginkan dan juga dapat menyebabkan pengendapan karbonat tertentu seperti CaCO<sub>3</sub> dan garam anorganik lainnya yang menjadi kurang larut pada temperatur tinggi. Konsentrasi total padatan tersuspensi dalam *greywater* dapat berkisar antara 190–537 mg/L seperti yang telah dilaporkan (Oteng-Peprah dkk, 2018). *Greywater* yang sebagian besar airnya berasal dari dapur dan laundry menyumbang nilai total padatan tersuspensi (TSS) yang relatif tinggi, dan hal ini mungkin disebabkan oleh pencucian pakaian, sepatu, sayuran, buah-buahan, umbi-umbian dan banyak lainnya yang mungkin mengandung pasir, tanah liat dan bahan lain yang dapat meningkatkan TSS. Kisaran konduktivitas listrik yang tercatat dalam *greywater* adalah antara 14 dan 3000 µS/cm (Ciabatti dkk, 2009, dalam Oteng-Peprah, 2018). Sumber air tanah dan daerah yang kekurangan air sebagian besar terkait dengan konduktivitas listrik yang tinggi karena bahan terlarut. Bahan pipa yang buruk atau tua juga berkontribusi terhadap peningkatan konduktivitas listrik akibat pencucian ke sumber air abu-abu. Kisaran kekeruhan *greywater* yang tercatat adalah antara 19 hingga 444 NTU dan sebagian besar dipengaruhi oleh aktivitas penggunaan air. *Greywater* yang sebagian besar sumbernya berasal dari dapur dan laundry diperkirakan akan menjadi lebih keruh karena adanya bahan tersuspensi.

#### 2.4.2.2 Karakteristik Kimia

Untuk mengidentifikasi berbagai kandungan kimia dalam *greywater*, penting untuk memahami sumber kontaminan. Kandungan kimia yang signifikan dalam *greywater* berasal dari bahan kimia yang digunakan untuk keperluan pembersihan,

memasak, dan mandi. pH dalam *greywater* sangat bergantung pada pH dan alkalinitas dalam persediaan air dan biasanya berada dalam kisaran 5–9. *Greywater* yang sebagian besar sumbernya berasal dari laundry umumnya akan menunjukkan pH tinggi karena adanya bahan alkali yang digunakan dalam deterjen. Kandungan kimia utama yang terdapat pada *greywater* yang dihasilkan dari kegiatan pembersihan atau pencucian adalah surfaktan. Surfaktan ini berfungsi sebagai bahan aktif utama pada sebagian besar produk pembersih. Bahan-bahan tersebut dapat bersifat kationik atau anionik dan sebagian besar produk pembersih dan laundry bersifat anionik (Jakobi dan Lohr, 1987, dalam Oteng-Peprah, 2018). Surfaktan kationik umumnya berbahan dasar garam, dan merupakan sumber amonium dalam *greywater*. Konstituen lain yang ditemukan dalam *greywater* juga mencakup nitrat dan fosfat yang masing-masing dilaporkan berasal dari amonium dan surfaktan kationik serta disinfektan cucian (Eriksson dkk, 2002, dalam Oteng-Peprah, 2018). Kandungan lain seperti natrium yang juga berasal dari kegiatan memasak dan pengawetan di dapur juga ditemukan dalam jumlah yang cukup besar. Sabun berbahan dasar natrium juga menyumbangkan sejumlah besar natrium ke dalam *greywater*. Aditif lain seperti bahan pembangun mengendalikan kesadahan air dalam deterjen dan juga berfungsi sebagai sumber utama kontaminan fosfat dalam air abu-abu (Lange, 1994, dalam Oteng-Peprah, 2018). Nutrisi seperti N dan P berhubungan dengan aktivitas dapur dan laundry. Sumber *greywater* dengan konsentrasi nutrisi tinggi sebagian besar berasal dari sebagian besar sumber dapur dan laundry (Boyjoo dkk, 2013, dalam Oteng-Peprah, 2018). Limbah dapur merupakan sumber utama nitrogen dalam *greywater* dengan kadar antara 4 dan 74 mg/L, sedangkan deterjen pencuci merupakan sumber utama fosfat yang ditemukan dalam grey water yang juga berkisar antara 4 dan 14 mg/L (Boyjoo dkk, 2013, dalam Oteng-Peprah, 2018).

**Tabel 2. 2** Karakteristik Fisikokimia Greywater di negara berpenghasilan rendah dan tinggi

Parameter	India	Pakistan	Niger	Yemen	USA	UK	Spain	Germany
	pH	7.3-8.1	6.2	6.9	6	6.4	6.6–7.6	7.6
Turbidity (NTU)	–	–	85	619	31.1	26.5–164	20	29
EC ( $\mu$ S/m)	–	–	–	–	23	32.7	–	64.5
TSS (mg/L)	100–283	155	–	511	17	37–153	32	–
TDS (mg/L)	573	102	–	–	171	–	–	–
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	100–188	56	106	518	86	39–155	–	59
COD (mg/L)	250–375	146	–	2000	–	96–587	151–177	109
Cl (mg/L)	53	–	–	–	–	–	–	–
Oil and grease (mg/L)	7	–	–	–	–	–	–	–
Nitrate (mg/L)	0.67	–	–	98	–	3.9	–	–
T. Nitrate (mg/L)	–	–	–	–	13.5	4.6–10.4	10–11	15.2
T. Phosp (mg/L)	0.012	–	–	–	4	0.4–0.9	–	1.6
FC (CFU)	–	–	–	1.9	–	–	–	$1.4 \times 10^5$
<i>E. coli</i> (CFU)	–	–	–	–	$5.4 \times 10^5$	10– $3.9 \times 10^5$	–	–
Ca (mg/L)	0.13	–	–	–	–	–	–	–
Mg (mg/L)	0.11	–	–	–	–	–	–	–
Na (mg/L)	32–50	–	–	–	–	–	–	–

#### 2.4.2.3 Karakteristik Biologi

*Greywater* mengandung mikroorganisme seperti bakteri, protozoa, dan cacing yang masuk ke dalamnya melalui kontak tubuh. Penanganan makanan yang tidak tepat di dapur dan penanganan langsung makanan yang terkontaminasi telah diidentifikasi sebagai sumber bakteri patogen enterik seperti *Salmonella* dan *Campylobacter* ke dalam *greywater* (Maimon dkk, 2014, dalam Oteng-Peprah,

2018). Kontaminasi feses juga umum terjadi pada *greywater* dan sebagian besar disebabkan oleh buruknya kebersihan pribadi dan pembuangan *greywater* yang berisi popok yang sudah dicuci. *Escherichia coli* patogen dan virus enterik telah terdeteksi dalam *greywater* dan sebagian besar airnya berasal dari sumber cucian selama program pemantauan mikroba di Melbourne Australia (O'Toole dkk, 2012, dalam Oteng-Pepurah, 2018). Dalam penelitian ini, 18% sampel mengandung virus enterik, 7% enterovirus, dan 11% *E. coli*. Indikator yang paling umum digunakan untuk menilai kontaminasi feses adalah bakteri coliform dan *E. coli*. Penelitian lain telah mengidentifikasi lebih lanjut sejumlah patogen dalam *greywater*, dan ini adalah *Pseudomonas*, *Legionella* (Birks dkk, 2004, dalam Oteng-Pepurah, 2018), *Giardia* (Birks dan Hills, 2007, dalam Oteng-Pepurah, 2018), *Cryptosporidium* (Birks dkk, 2004, dalam Oteng-Pepurah, 2018) dan *Staphylococcus aureus* (Shoults dan Ashbolt, 2017, dalam Oteng-Pepurah, 2018) dalam *greywater*.

**Tabel 2. 3** Karakteristik Biologis Greywater

<b>Mikroba</b>	<b>Konsentrasi</b>	<b>Sumber</b>
Total coliforms (counts/100 mL)	$1.2 \times 10^3$ – $8.2 \times 10^8$	(Alsulaili dkk, 2017; Dwumfour-Asare dkk, 2017; Mandal dkk, 2011; Masi dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
<i>E. coli</i>	Up to $6.5 \times 10^6$	(Atanasova dkk, 2017; Friedler dkk, 2006a; Khalaphallah and Andres, 2012; Kim dkk, 2009; Oteng-Pepurah dkk, 2018; Paulo dkk, 2009, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
Faecal coliforms	Up to $1 \times 10^6$	(Halalsheh dkk, 2008; Mandal dkk, 2011; Masi dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$1.4 \times 10^4$	(Benami dkk, 2015a); Khalaphallah and Andres, 2012, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
<i>Staphylococcus aureus</i>	$1.2 \times 10^2$ – $1.8 \times 10^3$	(Benami dkk, 2015b; Kim dkk, 2009; Maimon dkk, 2014); Shoults and Ashbolt, 2017, dalam Oteng-Pepurah, 2018)
<i>Salmonella typhi</i>	$5.4 \times 10^3$	(Kim dkk, 2009, dalam Oteng-Pepurah, 2018)

## **2.5 Teknologi Pengolahan *Greywater***

Banyak negara maju telah menerapkan metode penanganan, pengelolaan, dan pengolahan *greywater* yang sederhana hingga yang canggih, dan beberapa negara mendaur ulang *greywater* untuk keperluan minum dan non-minum. Sistem pengolahan telah digunakan untuk mengurangi tingkat kontaminasi *greywater* sebelum digunakan kembali atau dibuang akhir. Metode ini bersifat spesifik terhadap kontaminan, dan masing-masing diterapkan sepanjang rangkaian pengolahan air limbah konvensional (pengolahan pra-pengolahan, primer, sekunder, dan tersier). Masing-masing sistem ini mengadopsi cara pengobatan fisikokimia atau biologis. Metode fisikokimia mengadopsi metode pengolahan fisik dan/atau kimia termasuk antara lain filtrasi, adsorpsi dan osmosis balik. Metode pengolahan biologis mengadopsi kombinasi mikroba, sinar matahari dan manipulasi oksigen; contoh sistem tersebut termasuk sistem lumpur aktif, filter tetesan, kolam stabilisasi limbah, kontaktor biologis berputar dan banyak lainnya. Sistem yang banyak digunakan sebagian besar adalah filtrasi, kontaktor biologis berputar, bioreaktor membran, lahan basah buatan, dan selimut lumpur anaerobik aliran atas (UASB). Sistem ini telah diterapkan dalam mengatasi polusi *greywater* yang muncul di sebagian besar negara berkembang. Oleh karena itu tinjauan ini membahas kinerja sistem ini. Secara umum, limbah rumah tangga biasanya terdiri dari bahan organik. Bahan organik merujuk pada materi yang mampu mengalami pelapukan atau terurai oleh mikroorganisme, yang pada gilirannya dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang lebih lanjut (Khomaryatika dan Eram, 2011, dalam Oteng-Pepurah, 2018).

### **2.5.1 Filtrasi**

Filtrasi melibatkan penghilangan materi partikulat yang tidak dihilangkan oleh proses sebelumnya. Dalam sistem filtrasi, proses fisik dan biologis menghilangkan padatan. Namun, tinjauan ini hanya mempertimbangkan penghilangan zat padat secara fisik karena ini adalah metode yang diadopsi di sebagian besar skema



pengolahan *greywater*. Media filtrasi bisa berupa pasir, kerikil, jaring halus dan lain-lain. (Kotor dkk, 2007, dalam Oteng-Peprah, 2018) mempelajari kinerja sistem filtrasi pada pengolahan *greywater* dengan menggunakan kerikil setebal 2 cm yang diletakkan di atas lubang pembuangan dan dilanjutkan dengan lapisan tengah berukuran 12 cm yang terdiri dari media filter plastik sepanjang 12 cm dan terakhir ditutup dengan lapisan gambut setebal 4 cm. (Dalahmeh dkk, 2012, dalam Oteng-Peprah, 2018) juga mempelajari kinerja sistem filtrasi menggunakan kulit kayu pinus, arang aktif, busa poliuretan, dan pasir sebagai media filter dalam mengolah *greywater*. Kinerja sistem filtrasi kasar diikuti dengan filtrasi pasir lambat dengan waktu retensi hidrolis masing-masing 8 dan 24 jam (Finley dkk, 2009, dalam Oteng-Peprah, 2018). (Parjane dan Sane, 2011, dalam Oteng-Peprah, 2018) menggunakan tempurung kelapa, serbuk gergaji kasar, arang, batu bata dan pasir sebagai bahan filter untuk menilai kinerja pengolahan *greywater*. (Zuma dkk, 2009, dalam Oteng-Peprah, 2018) menggunakan sistem menara mulsa untuk mengolah air abu-abu di Afrika Selatan. Ini dibangun dengan menggunakan mulsa, pasir kasar, kerikil halus dan kasar. Ini terkandung dalam kolom plastik setinggi 650 mm dengan diameter 150 mm dengan saringan baja tahan karat ditempatkan di atasnya untuk menghilangkan partikel besar. Dari sistem filtrasi yang ditinjau, hanya filter kulit kayu yang mampu memenuhi kriteria pH untuk digunakan kembali. Terlebih lagi, hanya filter kulit kayu dan arang yang dapat memenuhi standar peraturan BOD5 untuk digunakan kembali.

### **2.5.2 Constructed Wetland**

Constructed Wetland (CW) adalah lahan basah buatan yang dibangun dengan memanfaatkan teknologi ekologi untuk meniru kondisi yang terjadi di lahan basah alami. Teknologi ini mengadopsi flora dan fauna khusus, tanah dan mikroorganisme untuk menghilangkan polutan yang diinginkan. Aliran ini biasanya diklasifikasikan dalam tiga tipe utama yaitu aliran bawah permukaan, aliran permukaan dan pengolahan lahan basah terapung. Sistem aliran bawah permukaan merupakan lahan basah buatan yang paling banyak digunakan, dan terdapat dua teknologi

utama, yaitu Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW) dan Horizontal Flow Constructed Wetland (HFCW). Masing-masing menghilangkan kontaminan melalui kombinasi proses fisik, kimia dan biologis, dan efisiensi pengolahan bergantung pada faktor-faktor seperti laju pemuatan dan ketersediaan akseptor elektron (Halalsheh dkk, 2008, dalam Oteng-Pepurah, 2018). Bahan ini mempunyai potensi tinggi dalam menghilangkan BOD5, padatan tersuspensi dan beberapa logam berat seperti Pb, Zn dan Fe. Kinerja VFCW dipelajari, dan diamati bahwa penghilangan amonia nitrat sangat rendah dibandingkan dengan sistem lain (Gross dkk, 2007; Travis dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018). (Gross, 2008, dalam Oteng-Pepurah, 2018) juga menyelidiki kinerja HFCW dalam pengolahan greywater dan mengamati bahwa kualitas limbah meningkat jika ada pengolahan awal *greywater*. Dalam penelitian ini, waktu retensi rata-rata adalah sekitar 30 jam dan disadari bahwa konduktivitas listrik meningkat dari 170 menjadi 190 mS/m, T-N berkurang dari 31 menjadi 23 mg/L dan T-P juga berkurang dari 48 menjadi 46 mg/L masing-masing mewakili 25,8 dan 4,2%. Salah satu keuntungan utama CW adalah kemampuannya untuk berjalan sendiri tanpa perhatian operator. Namun, tingkat penghilangan Na, Ca dan Mg relatif rendah dan hal ini juga menyebabkan peningkatan konduktivitas listrik (EC) yang mungkin disebabkan oleh pelarutan bahan organik dalam air yang diolah sehingga menyebabkan peningkatan total padatan terlarut (TDS) dan selanjutnya mempengaruhi EC. Bahan-bahan tersebut juga tidak dapat menghilangkan beberapa agen mikrobiologi seperti E. coli dan telur cacing sehingga memerlukan perawatan lebih lanjut jika tujuan pengobatan tersebut digunakan kembali. Namun, CW dapat menghasilkan limbah dengan BOD5 dan TSS yang memenuhi batas peraturan.

### **2.5.3 Rotating Biological Contactors**

Rotating Biological Contactors (RBC) adalah reactor tetap yang terdiri dari piringan berputar dan dipasang pada poros horizontal. Mereka sebagian terendam dan diputar saat air limbah mengalir. Mikroba yang melakukan pengolahan secara alternatif terpapar ke atmosfer sehingga memungkinkan aerasi dan asimilasi

polutan organik terlarut dan nutrisi untuk degradasi. (Pathan dkk, 2011, dalam Oteng-Pepurah, 2018) mempelajari kinerja RBC satu tahap pada *greywater* di Pakistan. RBC terbuat dari lembaran plastik dan disk dari plastik bertekstur. *Greywater* disimpan dalam sistem untuk jangka waktu tertentu sementara cakram yang berputar terendam hingga 40% di dalam *greywater*. (Friedler dkk, 2011, dalam Oteng-Pepurah, 2018) mempelajari potensi RBC untuk menghilangkan bakteri indikator (fecal coliform, bakteri heterotrofik) dan patogen spesifik (*Pseudomonas aeruginosa* sp., *Staphylococcus aureus* sp.). Studi tersebut menyimpulkan bahwa RBC menghilangkan 88,5–99,9% dari keempat kelompok bakteri. (Gilboa dan Friedler, 2008, dalam Oteng-Pepurah, 2018) mempelajari kinerja RBC dalam menghilangkan fecal coliform (FC), *Staphylococcus Aureus* sp., *Pseudomonas aeruginosa* sp. dan *Clostridium perfringens* sp. dalam *greywater* menggunakan RBC diikuti dengan sedimentasi. Studi tersebut menyimpulkan bahwa sistem ini menghilangkan hingga 99% dari semua mikroorganisme yang ada di *greywater*. Sistem RBC berkinerja baik dalam hal pH, BOD5, COD, mengurangi jumlah mikroba dan menghasilkan limbah yang memenuhi pedoman pembuangan.

#### **2.5.4 SBR (Sequncing Batch Reactor)**

SBR adalah jenis proses lumpur aktif yang digunakan untuk pengolahan air limbah. Semua proses pengolahan berlangsung secara batch di tangki reaktor. Batch tersebut diurutkan melalui serangkaian tahap pengolahan dan melakukan pemerataan, pengolahan biologis, dan klarifikasi sekunder dalam satu tangki menggunakan urutan waktu yang dikontrol. (Lamin dkk, 2007, dalam Oteng-Pepurah, 2018) melakukan penelitian pengolahan *greywater* menggunakan SBR di rumah siswa. Studi ini menilai kinerja pengobatan dengan memvariasikan waktu retensi hidrolis (HRT), dan mengungkapkan efek nitrifikasi dengan HRT yang bervariasi. Penelitian serupa yang dilakukan (Scheumann dan Kraume, 2009, dalam Oteng-Pepurah, 2018) juga menggunakan SBR skala percontohan dengan memvariasikan waktu retensi dan mengamati bahwa penghilangan COD, NH<sub>4</sub>-N dan TN sudah cukup untuk memenuhi pedoman penggunaan kembali pembuangan;

Namun, terjadi nitrifikasi pada penelitian ini seperti yang juga dilaporkan oleh (Lamine dkk, 2007, dalam Oteng-Pepurah, 2018). Dalam studi ini, konsentrasi bahan baku COD 250 mg/L, NH<sub>4</sub>-N 11,9 mg/L dan TN = 17,1 masing-masing berkurang menjadi 18,9, 4,1 dan 0,37 mg/L, semuanya berada di bawah nilai wajib untuk aplikasi penggunaan kembali. (Krishnan dkk, 2008, dalam Oteng-Pepurah, 2018) menyelidiki kinerja pengolahan *greywater* dari rumah tinggal di Malaysia pada SBR dasar persegi pada HRT tetap. SBR juga telah digunakan dalam proyek percontohan di Belanda untuk mengolah *greywater* dari 32 rumah (Hernandez Leal dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018). SBR memiliki efisiensi penyisihan hingga 98% untuk BOD<sub>5</sub> dan COD, hingga 80% TN, dan hingga 99% untuk NH<sub>4</sub>-N. HRT telah ditemukan menjadi faktor pembatas dalam kinerja SBR karena perbedaan HRT menghasilkan kualitas limbah yang berbeda seperti yang ditunjukkan dalam penelitian yang berbeda (Lamine dkk, 2007; Scheumann dan Kraume, 2009, dalam Oteng-Pepurah, 2018)

### **2.5.5 Membrane Bioreactor**

Membrane Bioreactor (MBR) adalah proses selektif perm yang terintegrasi dengan proses biologis untuk mengolah *greywater*. Ia bekerja pada kombinasi sistem biologis, mikrofiltrasi, dan ultrafiltrasi untuk mencapai pengobatan. Ini adalah solusi tepat yang dapat digunakan untuk pengolahan *greywater* dan digunakan kembali di daerah perkotaan yang padat, dimana ruang mempunyai nilai yang tinggi, karena ukurannya yang kompak. (Atanasova dkk, 2017, dalam Oteng-Pepurah, 2018) mempelajari kinerja MBR pada pengolahan *greywater* di sebuah hotel di Spanyol. Efisiensi penyisihan COD berkisar antara 80 hingga 95%, dimana konsentrasi COD dalam limbah berada di bawah batas kuantifikasi 30 mg/L berdasarkan undang-undang Spanyol untuk penggunaan kembali air. Penyisihan amonia dan TN rata-rata berada pada tingkat tinggi masing-masing 80,5 dan 85,1%. Kinerja pengobatan MBR yang terdiri dari membran ultrafiltrasi juga dipelajari oleh (Merz dkk, 2007, dalam Oteng-Pepurah, 2018) tentang *greywater* dari kompleks olahraga di Maroko. (Huelgas dan Funamizu, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018)

mempelajari pengolahan *greywater* menggunakan MBR skala laboratorium pada tekanan yang bervariasi. (Jong dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018) juga menggunakan MBR anaerobik-anoksik-oksik untuk mengolah air abu-abu di Korea dengan mikrofilter ukuran pori 0,45  $\mu\text{m}$ . Sistem ini dapat menghasilkan limbah yang sangat baik dan memenuhi standar peraturan untuk digunakan kembali. Ukuran pori nominal 0,1  $\mu\text{m}$  telah ditemukan untuk menghilangkan coliform fekal.

### **2.5.6 UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)**

UASB tetap menjadi salah satu sistem pengolahan air limbah yang paling banyak digunakan untuk berbagai jenis aliran air limbah. Sistem ini bekerja pada proses anaerobik dan mempertahankan konsentrasi tinggi biomassa tersuspensi aktif dan menghasilkan lumpur yang dapat mengendap lebih baik dibandingkan sistem pengolahan lainnya. *Greywater* dari 32 rumah di Belanda diolah menggunakan sistem ini (Hernandez Leal dkk, 2010, dalam Oteng-Pepurah, 2018). (Elmitwalli dkk, 2007, dalam Oteng-Pepurah, 2018) juga menggunakan sistem ini untuk mempelajari pengolahan *greywater* di Lubeck Jerman dengan memvariasikan waktu retensi. (Abdel-Shafy dkk, 2015, dalam Oteng-Pepurah, 2018) menyelidiki efisiensi UASB dalam pengolahan *greywater* untuk penggunaan tidak terbatas di Mesir. Karakteristik *greywater* mentah dengan konsentrasi rata-rata 95, 392, 298, 10,45, 0,4, 118,5 dan 28 mg/L masing-masing untuk TSS, COD, BOD<sub>5</sub>, TP, nitrat, minyak dan lemak serta TKN diolah dalam UASB. Setelah pengolahan, konsentrasi efluen masing-masing adalah 76,65, 165,4 96,85 dan 19,31 mg/L untuk TSS, COD, BOD<sub>5</sub> dan minyak dan lemak. Hal ini menunjukkan efisiensi penyisihan sebesar 19,3% untuk TSS, 57,8% untuk COD, 67,5% untuk BOD<sub>5</sub>, dan 83% untuk minyak dan lemak. UASB berkinerja lebih baik bila terintegrasi dengan sistem lain.

**Tabel 2. 4 Efisiensi Beberapa Teknologi Pengolahan Greywater**

Parameter	Filtrasi	Wetlands	SBR	RBC	MBR	UASB
Turbidity (NTU)	–	–	–	–	98–99%	–
EC (uS/m)	–	–	–	–	–	–
TSS (mg/L)	53–93%	90–98%	–	9–12%	Up to 100%	–
TDS (mg/L)	–	–	–	–	–	–
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	89–98%	Up to 99%	90–98%	27–53%	93–97%	Up to 67%
COD (mg/L)	37–94%	81–82%	90–98%	21–61%	86–99%	38–79%
Cl (mg/L)	–	92–94%	–	–	–	–
Oil and grease (mg/L)	Up to 97%	Up to 95.45	–	–	–	83.7%
Nitrate (mg/L)	17–73%	–	–	–	6–72%	–
T. Nitrate (mg/L)	5–98%	26–82	80%	–	52–63%	24 to 58%
T. Phosp (mg/L)	Up to 100%	Up to 71%	–	–	Up to 19%	10 to 39%
FC (CFU)	–	–	–	88.5–99.9%	Up to 99%	–
<i>E. coli</i> (CFU)	Up to 100%	–	–	88.5–99.9%	–	–
Ca (mg/L)	Up to 100%	–	–	–	–	–
Mg (mg/L)	Up to 100%	–	–	–	–	–
Na (mg/L)	47%	–	–	–	–	–

## 2.6 Media Filter

Dalam sektor industri, pemanfaatan pasir kuarsa telah mengalami perkembangan yang signifikan, baik menjadi bahan baku utama atau sebagai bahan tambahan. Pasir kuarsa merupakan bahan baku pembuatan kaca, produksi semen, pembuatan ubin, mozaik, pembuatan ferrosilikon, silikon karbida sebagai bahan abrasif (untuk amplas dan sandblasting), serta berperan sebagai bahan baku tambahan dalam industri cor, industri minyak dan gas, pembuatan bata tahan api (refraktori), dan banyak aplikasi lainnya. Selain itu, pasir kuarsa sering digunakan sebagai komponen penting dalam proses pengolahan air kotor menjadi air bersih.

Dalam konteks ini, pasir kuarsa berfungsi untuk menghilangkan sifat-sifat negatif seperti kekeruhan, kandungan lumpur, dan bau pada air. Biasanya, pasir kuarsa digunakan sebagai media penyaringan pada tahap awal proses (Selintung, 2012).

## **2.7 Media Pasir**

Penggunaan media filter yang paling umum adalah menggunakan pasir karena harganya terjangkau. Pasir adalah media filter yang sering digunakan dalam proses penyaringan air, tetapi tidak semua jenis pasir cocok sebagai media filter. Oleh karena itu, pemilihan pasir harus dilakukan dengan cermat untuk memastikan bahwa pasir yang digunakan memenuhi persyaratan sebagai media filter. Dalam pemilihan pasir sebagai media filter, karakteristik sifat pasir harus diperhatikan, termasuk:

a. Bentuk pasir

Bentuk pasir memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan kelolosan atau permeabilitasnya.

b. Ukuran butir pasir

Pasir dengan butiran kasar yang memiliki diameter lebih dari 2 mm akan memberikan kelolosan yang lebih tinggi, sementara pasir dengan butiran halus, dengan diameter antara 0,15 hingga 0,45 mm, akan memberikan kelolosan yang lebih rendah.

c. Kemurnian Pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi, yaitu bebas dari kontaminan seperti lumpur. Pasir dengan kandungan lumpur yang tinggi, jika digunakan sebagai media filter, akan mempengaruhi kualitas filtrasi yang dihasilkan.



## 2.8 Media Karbon Aktif

Karbon aktif adalah hasil aktivasi dari arang, yang menghasilkan karbon dengan pori-pori yang lebih terbuka, melalui proses fisik dan kimia. Pembuatan karbon aktif melibatkan pembakaran tanpa oksigen. Jika pembakaran menggunakan oksigen, arang hanya akan menjadi abu, dan pori-porinya tidak akan terbuka. Hal ini memungkinkan karbon aktif untuk menyerap zat dalam larutan dan udara. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan adsorpsi.

Karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menangkap *greywater*, yang umumnya mengandung bahan organik. Proses adsorpsi adalah metode pengolahan limbah sederhana yang umum digunakan untuk mengatasi limbah organik. Namun, dalam proses adsorpsi terdapat kelemahan, yaitu perlunya meregenerasi adsorben ketika telah jenuh dengan senyawa organik. Selain itu, polutan organik yang telah diadsorpsi pada adsorben tetap berbahaya karena tidak dapat terdegradasi menjadi senyawa lain seperti  $CO_2$  dan  $H_2O$ . (Slamet dkk, 2006).

Pori-pori dalam karbon aktif memiliki berbagai bentuk dan ukuran yang tidak teratur, dengan ukuran pori berkisar antara 10-10.000 Å. Pori-pori ini mampu menangkap partikel-partikel sangat halus (molekul). Semakin banyak zat yang diadsorpsi, pori-pori akhirnya akan jenuh, sehingga karbon aktif tidak berfungsi lagi. Namun, karbon aktif yang sudah jenuh dapat direaktivasi, meskipun seringkali direkomendasikan untuk penggunaan sekali pakai. Dalam pengolahan limbah cair, karbon aktif juga digunakan untuk menghilangkan bahan organik dan anorganik. (Sujarwo, 2007).

Penggunaan karbon aktif dalam pengolahan air telah berkembang pesat. Biasanya, karbon aktif digunakan sebagai langkah lanjutan setelah pengolahan fisik atau biologis. Karbon aktif digunakan untuk mengurangi kadar bahan organik terlarut dalam air, dan dengan kontakannya dengan air, partikel-partikel juga dapat dihilangkan. Proses adsorpsi tersebut memungkinkan zat-zat terlarut dalam air terserap pada permukaan karbon aktif, meningkatkan kualitas air yang dihasilkan.. Karbon aktif menjadi salah satu alternatif teknologi yang populer dalam pengolahan

limbah bukan hanya karena efektivitasnya dalam mengurangi pencemar, melainkan juga karena keunggulan-keunggulan seperti kemudahan dalam penggunaan serta biaya yang relatif murah dalam perawatannya. (Chrisafitri, 2012).

Kontaminan dalam air terserap oleh karbon aktif karena daya tariknya lebih kuat daripada daya yang menahan zat-zat tersebut dalam larutan. Senyawa yang mudah terserap oleh karbon aktif biasanya memiliki kelarutan yang lebih rendah daripada karbon aktif. Kontaminan dapat masuk ke dalam pori-pori karbon aktif dan terakumulasi di dalamnya jika ukuran pori kontaminan lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori karbon aktif. Karbon aktif juga memiliki sifat sebagai adsorben zat organik dalam limbah, sehingga mampu mengurangi kadar warna dan BOD. (Setiawan, 2007).

## **2.9 Media Zeolit**

Zeolit adalah sebuah material serbaguna yang telah diterapkan dalam berbagai bidang. Zeolit digunakan sebagai adsorben, penukar ion, dan juga berfungsi sebagai katalis. Zeolit batuan merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumina silika tetrahidrat yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi. Struktur ini dibentuk oleh tetrahedral ( $SiO_4$ )- dan ( $AlO_4$ ) yang saling terhubung melalui atom-atom oksigen, membentuk kerangka tiga dimensi yang terbuka. Kerangka ini mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang diisi oleh ion-ion logam, biasanya logam alkali atau alkali tanah, serta molekul air yang dapat bergerak bebas di dalamnya. (Chetam, 1992 dalam Lestari, 2010). Zeolit juga dapat dijelaskan sebagai mineral yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat, dan air (Hamdan, 1992). Zeolit memiliki sifat-sifat unik ini yang menjadikannya bahan yang berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan adsorpsi, penukar ion, dan katalis dalam berbagai proses kimia dan pengolahan.

Air yang terperangkap dalam pori-pori zeolit dapat dikeluarkan dengan memanaskannya pada suhu antara 300 hingga 400 derajat Celsius. Pemanasan pada rentang suhu tersebut memungkinkan air untuk keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berperan sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti, 1994). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sejalan dengan banyaknya pori atau volume pori yang ada dalam zeolit tersebut. Struktur khas zeolit, yang terdiri sebagian besar dari kanal dan pori, menghasilkan luas permukaan yang besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa setiap pori dan kanal, baik di dalam maupun antar kristal zeolit, memiliki bentuk silinder. Oleh karena itu, luas permukaan total zeolit adalah hasil akumulasi dari luas permukaan dinding pori dan kanal-kanal yang membentuk zeolit (Lestari, 2010).

Menurut (Dyer, 1988), zeolit memiliki luas permukaan internal yang jauh lebih besar daripada permukaannya, bahkan mencapai puluhan hingga ratusan kali lipat. Keunggulan luas permukaan yang signifikan ini sangat menguntungkan dalam penggunaan zeolit sebagai adsorben. Beragam struktur pori dalam zeolit menjadikannya pilihan populer untuk memisahkan molekul-molekul kecil. Menurut (Nasir, 2013), penurunan fluks (kapasitas aliran) dalam proses pengolahan air bisa terjadi karena adanya adsorpsi pada permukaan zeolit yang terdapat dalam filter. Oleh karena itu, proses ini merupakan kombinasi dari filtrasi dan adsorpsi fisik oleh zeolit. Menambahkan zeolit dalam komposisi filter keramik dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi filter, namun juga meningkatkan risiko penyumbatan (fouling) pada permukaan filter. Peningkatan tekanan operasi bisa meningkatkan fluks, tetapi juga meningkatkan kemungkinan fouling pada permukaan filter.

Menurut (Martin, 1996), zeolit adalah senyawa alumino silikat yang memiliki struktur karakteristik. Kekurangan muatan positif pada atom dalam zeolit memungkinkan zeolit untuk mengikat kation melalui pertukaran ion. Struktur kristal zeolit yang terbentuk oleh tetrahedron menciptakan rongga, yang memungkinkan zeolit untuk mengikat ion melalui adsorpsi. Zeolit dengan struktur senyawa alumino silika fosfat (ASP) dapat digunakan sebagai penukar anion dan

kation karena memiliki muatan positif dan negatif dalam struktur kristalnya. Inilah yang memungkinkan zeolit berperan sebagai penukar ion yang sangat efektif (Martin, 1996).

## 2.10 Studi Terdahulu

**Tabel 2. 5 Studi Terdahulu**

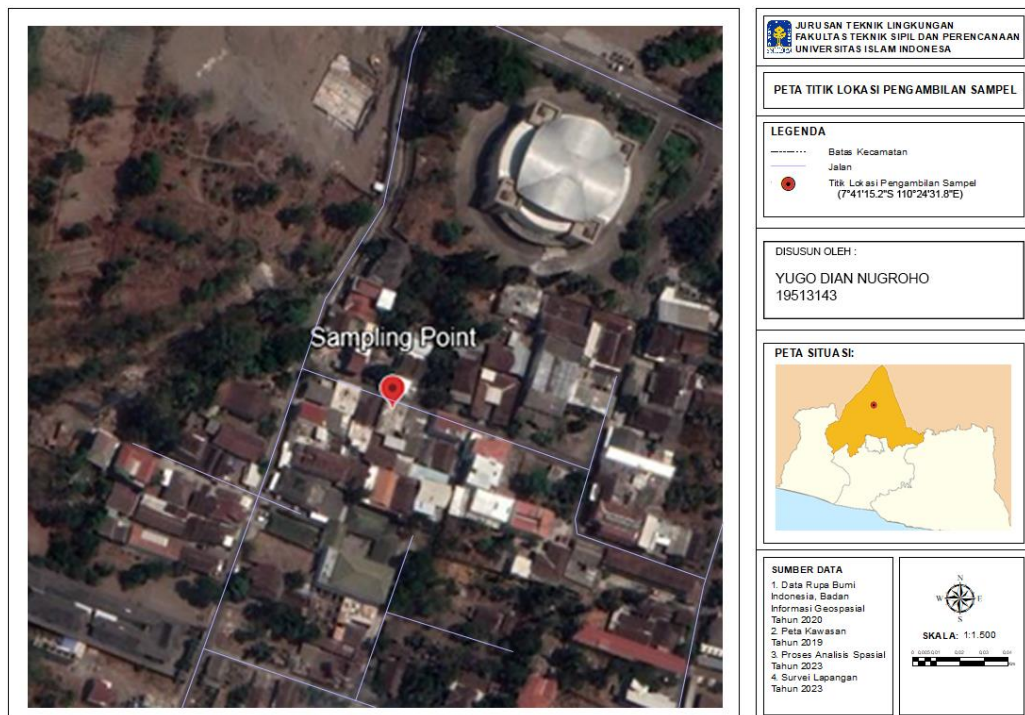
No	Judul dan Penyusun	Tujuan	Metode	Hasil
1	Uji Unit Filtrasi Sederhana Dalam Menurunkan Parameter Kualitas Air Limbah Cair Rumah Makan Oleh (Siti Reifa Izarna, 2022)	Mengetahui efektivitas media filter(karbon aktif, pasir silika, zeolite dan kapas filter) dalam menetralkan parameter pH dan menurunkan kadar parameter kekeruhan, BOD, COD, TSS, serta minyak lemak.	Sampel air limbah rumah makan ditampung dalam jerigen sebanyak 20 liter. Dialirkan kedalam raktor dengan media kapas filter, karbon aktif, zeolite dan silika dengan varisi ketebalanmedia setinggi 5, 10, 15 cm.	1. Hasil pengujian efektif pada ketebalan media 15 cm.
2	Pengolahan Limbah Rumah Tangga ( <i>Greywater</i> ) Dengan Sistem Filtrasi Upflow Menggunakan	Menilai sejauh mana sistem filtrasi Upflow dengan media serabut, zeolite, dan karbon aktif mampu	Mencari efektivitas filtrasi dengan media Serabut kelapa, karbon aktif, zeolite dengan varisi ketebalanmedia setinggi 10, 15, 20 cm.	Hasil pengujian dengan ketebalan media 20 cm mampu menurunkan parameter COD dengan efektifitas 84,41 % dan hasil sesuai baku mutu.

	Filter Multimedia Oleh (Refsi Reka Saputri, 2021)	mengurangi tingkat pencemaran air limbah rumah tangga dalam hal COD, TSS, tingkat pH, dan tingkat kekeruhan.		
3	Pengolahan Limbah Cair Kantin Yongma Fisip UI Oleh (Vini Widyarningsih)	Mengetahui efisiensi pengolahan yang diperoleh dengan menggunakan grease trap, sump well dan biofilter	Parameter penelitian TSS, BOD, COD, Minyak Lemk dan pH. Ketebalan biofilter Pasir halus 5 cm, Pasir kasar 5 cm, Kerikil 20 cm.	Kinerja biilter skala laboratorium sudah baik dalam menaikkan pH dan menurunkan TSS dan BOD, tetapi untuk nilai COD, Total Fosfat dan minyak lemak masih belum baik karena m=belum sesuai baku utu

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel *Greywater* dilakukan di Kost Al-Fazza yang beralamat di jalan Nglanjaran II RT:008 RW:017 No. 68, Kelurahan Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, DI Yogyakarta. 55581. Pembuatan unit pengolahan air limbah tepat guna dan pengujian sampel *Greywater* dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Pembuatan rektor dilakukan pada bulan Agustus 2023. Sampel diambil pada bulan September 2023. Kegiatan uji penelitian sampel di Laboratorium dilaksanakan bulan September hingga Oktober 2023.



## 3.2 Variabel

### 3.2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Debit (Q) filtrasi adalah 0,051282 L/detik (V : 2 L, t : 39 detik)

### 3.2.2 Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketinggian media silika, Zeolit, dan Karbon Aktif adalah 15 cm, 20 cm, 25 cm

## 3.3 Pembuatan Reaktor

Pembuatan reaktor filtrasi dengan menggunakan kaca dengan ketebalan 5 mm yang berbentuk persegi yang berukuran p 20 cm x l 20 cm x t 80 cm yang diberi ball valve di bagian bawah. Berdasarkan ketebalannya kaca tersebut bisa menahan tekanan yang diberikan oleh media dan air yang dialirkan ke dalam reaktor filtrasi.

Pembuatan bak penampungan air limbah menggunakan kaca dengan ketebalan 5 mm yang berbentuk persegi yang berukuran p 40 cm x l 40 cm x t 80 cm yang diberi ball valve di bagian bawah. Kemudian pembuatan dudukan bak penampungan air menggunakan besi berukuran p 40 cm x l 40 cm x t 100 cm.



**Gambar 3. 1** *Reaktor Filtrasi*

### 3.4 Media Filter

Media Filter yang digunakan adalah batu kerikil dan ijuk sebagai media penyangga, silika, zeolite dan karbon aktif. Ukuran dari media filter silika, zeolite dan karbon aktif adalah 14-20 mesh. Kemurnian pasir adalah salah satu faktor kunci dalam mencapai kinerja optimal sebuah filter. Oleh karena itu, media filter harus dicuci terlebih dahulu dengan air bersih untuk menghilangkan segala partikel pengganggu sehingga pasir menjadi bersih dan efektif dalam melakukan penyaringan.



**Gambar 3. 2** *Media Filter*

Setelah media filter dicuci dengan menggunakan air bersih, dimasukkan kedalam reaktor filter sesuai urutan. Batu kerikil terletak dibagian paling dasar sebagai media penyangga, kemudian masukkan ijuk sebagai media penyaring silika agar tidak keluar melalui ball valve, setelah itu masukkan silika kemudian zeolite dan karbon aktif. Berdasarkan (Sulianto, 2020) susunan media filter kerikil, ijuk, silika, zeolite, dan karbon aktif lebih baik dibandingkn dengan susunan media filter yang lain. Dengan nilai efisiensi BOD 15.75 %, COD 15.44 %, dan TSS 39.64%.



### 3.5 Proses Pengolahan dan Pengambilan Sampel

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan trial running terhadap reaktor filtrasi dengan menggunakan air bersih agar saat running dapat bekerja secara optimal. Trial running dilakukan untuk mengetahui debit yang keluar dari reaktor filtrasi.

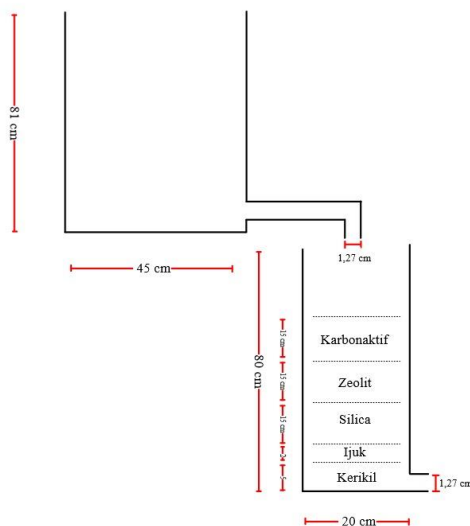
$$\text{Debit (L/detik)} = \frac{V (L)}{t (\text{detik})}$$

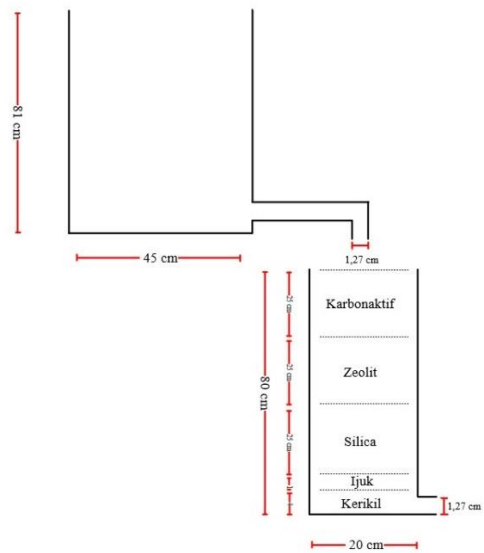
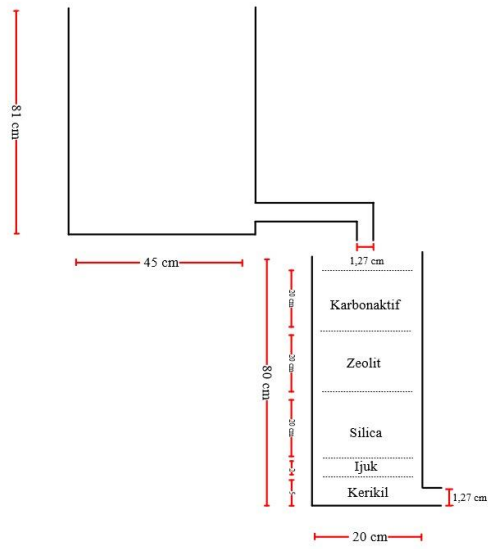
Keterangan:

V adalah volume air mengalir

t adalah waktu.

Penelitian dimulai dengan mengalirkan *greywater*, yang sebelumnya ditampung dalam bak penampungan ke reaktor. Variasi media yang digunakan adalah silika, zeolit, dan karbon aktif dengan ketebalan masing masing 15 cm, 20 cm, dan 25 cm. Sampling dimulai dari pengambilan sampel *greywater*, kemudian sampel dari reaktor pada menit ke-2, ke-6, dan ke-10





**Gambar 3. 3** *Desain Reaktor*

Kemudian sampel dibawa ke Laboratorium Air Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia untuk diuji kadar COD, BOD, dan TSS.

**Tabel 3. 1 Metode Pengujian**

Parameter	SNI	Metode
COD	SNI 6989.2:2019	Refluks tertutup
BOD	SNI 6989.72.2009	BOD5
TSS	SNI 6989.3:2019	Gravimetri

### 3.7 Prosedur Analisis Data

Pengukuran dari efektifitas *Chemical oxygen demand* (COD), *Total suspended solid* (TSS), BOD dilakukan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Efektifitas (\%)} = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \times 100\%$$

Keterangan:

A<sub>0</sub> adalah kadar pencemar sebelum dilakukan pengolahan

A<sub>n</sub> adalah kadar pencemar setelah dilakukan pengolahan.

Dari persamaan ini maka didapatkan efektifitas parameter uji air hingga pengujian dapat dibandingkan dengan kadar pencemar sebelum dilakukan pengolahan dan setelah dilakukannya pengolahan (Eryanto dkk, 2013)

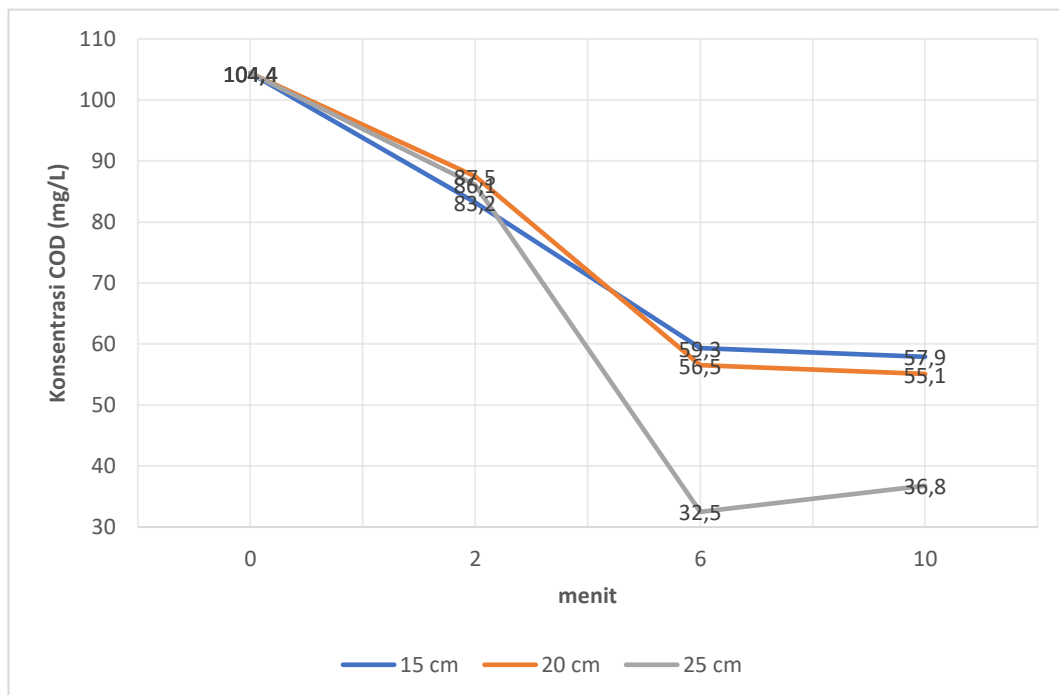
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Uji Variasi Media

##### 4.1.1 Parameter COD (*Chemical oxygen demand*)

Titik pengambilan sampel dilakukan pada outlet filtrasi pada menit ke-2, ke-6 dan ke-10. Hasil pengujian parameter COD dapat dilihat pada **Gambar 4.1** sedangkan efektivitas dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.2**.

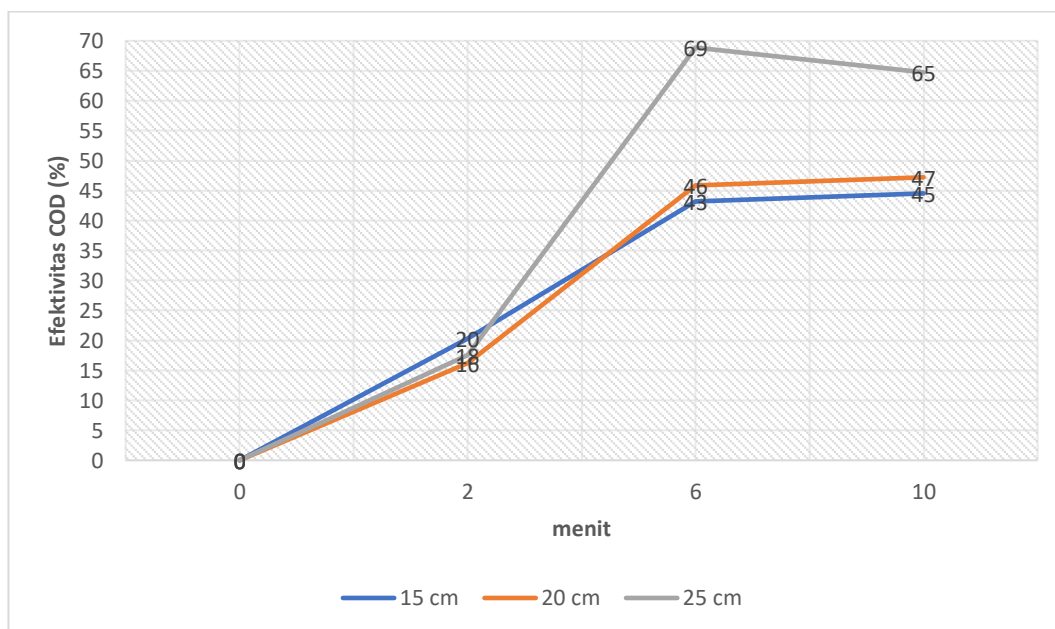


**Gambar 4.1** Grafik Hasil Pengujian Parameter COD

Pada **Gambar 4.1** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter COD. Hasil pengujian COD Limbah *Greywater* Kost Al-fazza adalah 104,4 mg/L yang berarti masih diatas Baku Mutu Air Limbah Domestik Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016 yaitu 100 mg/L.

Pada ketebalan 15 cm, 20 cm, dan 25 cm masing masing mengalami penurunan terhadap konsentrasi COD. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 konsentrasi COD adalah 83,2 mg/L, menit ke-6 adalah 59,3 mg/L dan menit ke 10 adalah 57,9 mg/L. Pada ketebalan 20 cm menit ke-2 konsentrasi COD adalah 87,5 mg/L, menit ke-6 adalah 56,5 mg/L dan menit ke 10 adalah 55,1 mg/L. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 konsentrasi COD adalah 86,2 mg/L, menit ke-6 adalah 32,5 mg/L dan menit ke 10 adalah 36,8 mg/L.

Konsentrasi COD diketebalan 15 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10), 20 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10), dan 25 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10) sudah memenuhi baku Mutu Air Limbah Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan filtrasi dengan menggunakan media silika, zeolit dan karbon aktif dapat menurunkan konsentrasi COD pada *Greywater* Kost Al-Fazza.



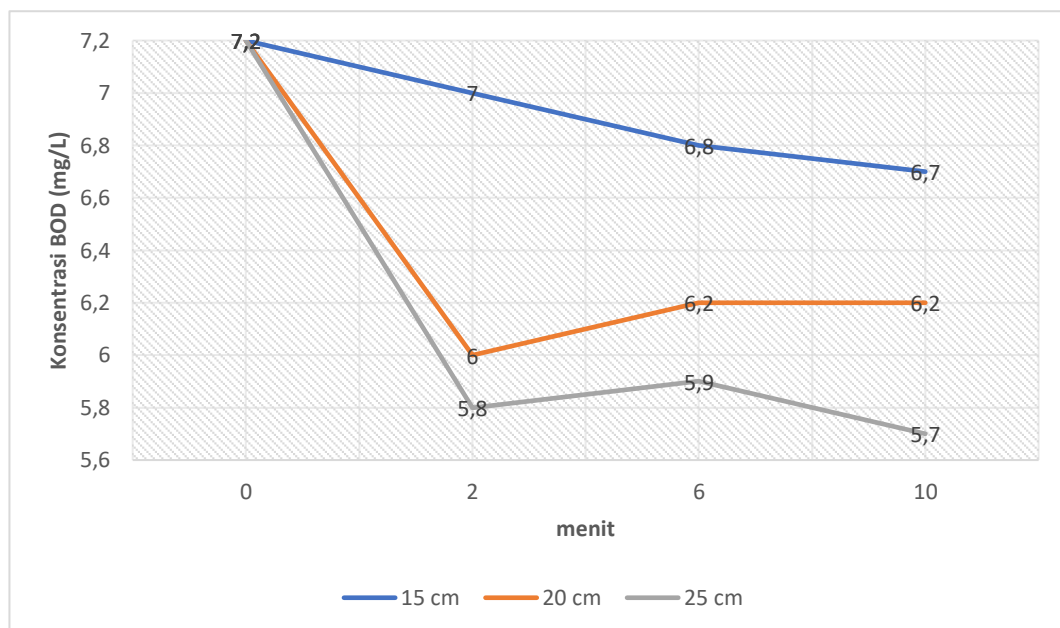
**Gambar 4. 2** Grafik Efektivitas Pengujian Parameter COD

Pada **Gambar 4.2** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter COD. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 20 %, menit ke-6 adalah 43 % dan menit ke 10 adalah 45 %. Pada ketebalan 20 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 16 %, menit ke-6 adalah 46 %

dan menit ke 10 adalah 47 %. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 18 %, menit ke-6 adalah 69 % dan menit ke 10 adalah 65 %. Dari proses filtrasi pada ketebalan 25 cm pengambilan menit ke 6 merupakan yang paling efektif.

#### 4.1.2 Parameter BOD (*Biological oxygen demand*)

Titik pengambilan sampel dilakukan pada outlet filtrasi pada menit ke-2, ke-6 dan ke-10. Hasil pengujian parameter BOD dapat dilihat pada **Gambar 4.3** sedangkan efektivitas dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.4**.



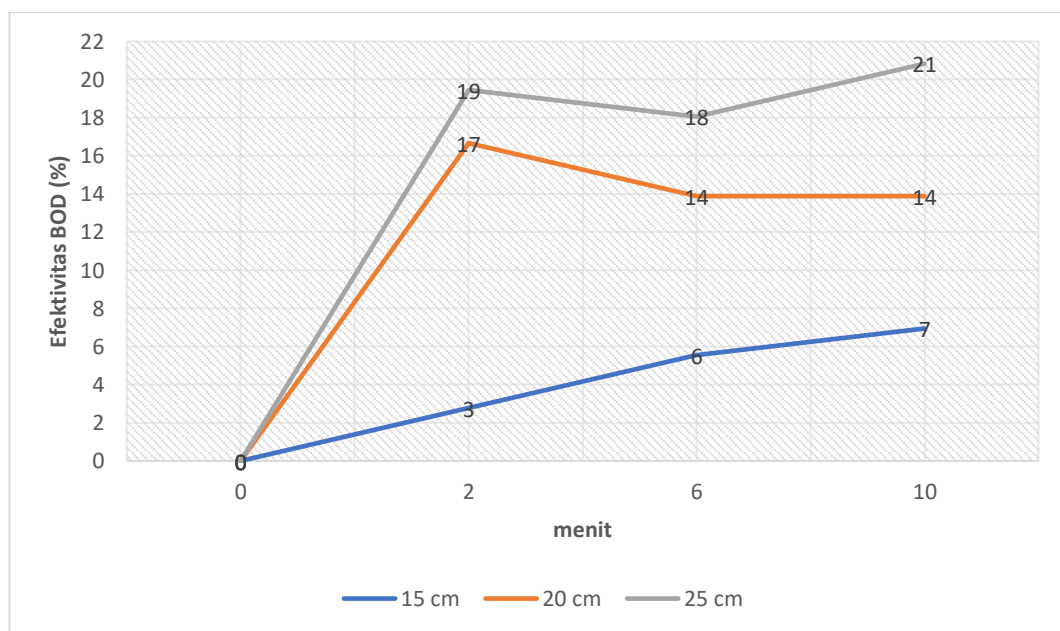
**Gambar 4.3** Grafik Hasil Pengujian Parameter BOD

Pada **Gambar 4.3** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter BOD. Hasil pengujian BOD Limbah *Greywater* Kost Alfazza adalah 7,2 mg/L yang berarti masih dibawah Baku Mutu Air Limbah Domestik Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016 yaitu 30 mg/L.

Pada ketebalan 15 cm, 20 cm, dan 25 cm masing masing mengalami penurunan terhadap konsentrasi BOD. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 konsentrasi BOD

adalah 7 mg/L, menit ke-6 adalah 6,8 mg/L dan menit ke 10 adalah 6,7 mg/L. Pada ketebalan 20 cm menit ke-2 konsentrasi BOD adalah 6 mg/L, menit ke-6 adalah 6,2 mg/L dan menit ke 10 adalah 6,2 mg/L. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 konsentrasi BOD adalah 5,8 mg/L, menit ke-6 adalah 5,9 mg/L dan menit ke 10 adalah 5,7 mg/L.

Konsentrasi BOD di ketebalan 15 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10), 20 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10), dan 25 cm (menit ke-2, ke-6, dan ke-10) sudah memenuhi baku Mutu Air Limbah Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan filtrasi dengan menggunakan media silika, zeolit dan karbon aktif dapat menurunkan konsentrasi BOD pada *Greywater* Kost Al-Fazza.



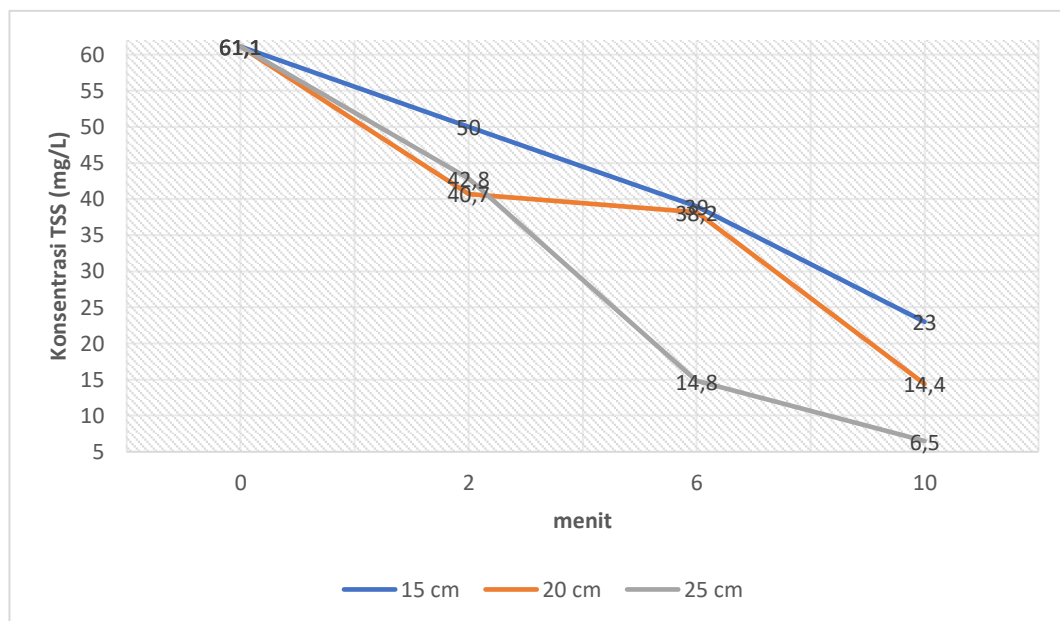
**Gambar 4. 4** Grafik Efektivitas Pengujian Parameter BOD

Pada **Gambar 4.4** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter BOD. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 3 %, menit ke-6 adalah 6 % dan menit ke 10 adalah 7 %. Pada ketebalan 20 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 17 %, menit ke-6 adalah 14 % dan menit ke 10 adalah 14 %. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 19 %, menit ke-6 adalah 18 % dan menit ke 10 adalah 21 %. Dari proses

filtrasi pada ketebalan 20 cm pengambilan menit ke 10 merupakan yang paling efektif.

#### 4.1.3 Parameter TSS (*Total suspended solid*)

Titik pengambilan sampel dilakukan pada outlet filtrasi pada menit ke-2, ke-6 dan ke-10. Hasil pengujian parameter COD dapat dilihat pada **Gambar 4.5** sedangkan efektivitas dapat dilihat pada gambar **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Parameter TSS

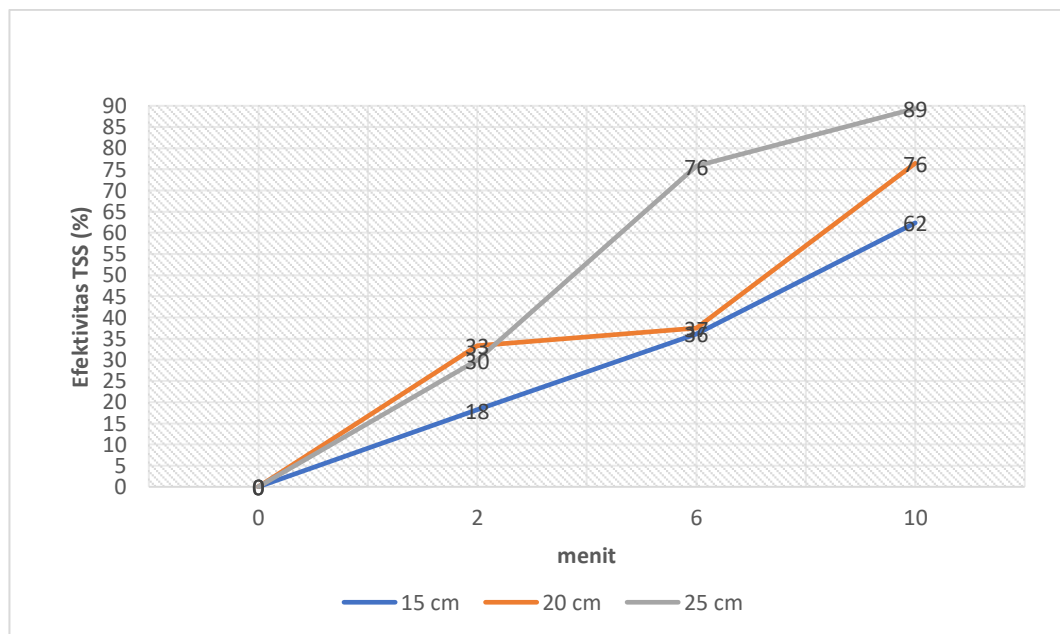
Pada **Gambar 4.5** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter TSS. Hasil pengujian TSS Limbah *Greywater* Kost Alfazza adalah 61,1 mg/L yang berarti masih diatas Baku Mutu Air Limbah Domestik Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016 yaitu 30 mg/L.

Pada ketebalan 15 cm, 20 cm, dan 25 cm masing masing mengalami penurunan terhadap konsentrasi TSS. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 konsentrasi TSS adalah 50 mg/L, menit ke-6 adalah 39 mg/L dan menit ke 10 adalah 23 mg/L. Pada



ketebalan 20 cm menit ke-2 konsentrasi TSS adalah 40,7 mg/L, menit ke-6 adalah 38,2 mg/L dan menit ke 10 adalah 14,4 mg/L. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 konsentrasi TSS adalah 42,8 mg/L, menit ke-6 adalah 14,8 mg/L dan menit ke 10 adalah 6,5 mg/L.

Konsentrasi TSS diketebalan 15 cm (menit ke-2, ke-6), 20 cm (menit ke-2, ke-6), dan 25 cm (menit ke-2) belum memenuhi baku Mutu Air Limbah Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016. Sedangkan diketebalan 15 cm (menit ke-10), 20 cm (menit ke-10), dan 25 cm (menit ke-6, menit ke-10) sudah memenuhi baku Mutu Air Limbah Berdasarkan PerMenLHK No. P. 68 Tahun 2016.



**Gambar 4. 6** Grafik Efektivitas Pengujian Parameter TSS

Pada **gambar 4.6** terlihat grafik hasil pengujian parameter COD, dan dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa proses filtrasi cukup efektif dalam menurunkan nilai parameter TSS. Pada ketebalan 15 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 18 %, menit ke-6 adalah 36 % dan menit ke 10 adalah 62 %. Pada ketebalan 20 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 33 %, menit ke-6 adalah 37 % dan menit ke 10 adalah 76 %. Pada ketebalan 25 cm menit ke-2 nilai efektivitas adalah 30 %, menit ke-6 adalah 76 % dan menit ke 10 adalah `89 %. Dari proses filtrasi pada ketebalan 25 cm pengambilan menit ke 10 merupakan yang paling efektif.

## 4.2. Pembahasan

Penurunan TSS, yang ditandai dengan penurunan tingkat kekeruhan, juga berhubungan dengan penurunan COD dan BOD. Silika memiliki potensi untuk mengurangi kadar TSS karena mampu menyaring kotoran, partikel, serta organisme kecil dalam air. Menurut (Sulianto dkk, 2020) nilai efisiensi penurunan kadar TSS 39,64%, hal ini disebabkan oleh media filter yang digunakan saat penelitian adalah kerikil, silika, zeolit dan arang aktif. Demikian pula, ketebalan karbon aktif akan meningkatkan kemampuannya dalam menyerap zat-zat pencemar yang terkandung dalam air limbah (Dewi dan Buchori, 2016). Berdasarkan situasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar partikel padat dalam air limbah terbentuk dari senyawa organik. Dengan mempertimbangkan hal ini (Handayani, 2013), kualitas air bekas mandi mengandung materi organik yang berasal dari aktivitas mandi, termasuk sabun, rambut, dan kotoran tubuh. Penelitian yang dilakukan di Universitas New Mexico juga mengungkapkan bahwa materi pencemar dalam air bekas mandi dapat berupa bakteri, rambut, air panas, bau, minyak dan lemak, oksigen terlarut, sabun, suspended solid, serta kekeruhan. Materi-materi pencemar ini merupakan penyebab tingginya kandungan senyawa organik dalam air bekas mandi.

Penurunan kadar BOD yang terjadi disebabkan oleh pengaruh beberapa media, penurunan persentase kadar BOD yang tinggi disebabkan oleh lamanya waktu kontak dan ketebalan media yang digunakan. Menurut (Pungus dkk, 2019) waktu kontak dan ketebalan media memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar polutan dalam air limbah. Penyebabnya adalah media zeolit mampu menyerap partikel padat dalam air limbah. Zeolit memiliki luas permukaan yang cukup besar, sehingga mampu menyerap limbah organik dengan efektif (Wahistina, dkk, 2013). Selain itu, penurunan kadar BOD juga dipengaruhi oleh penggunaan media pasir silika dan karbon aktif. Menurut (Sulianto, 2020) penurunan kadar BOD cukup signifikan dengan menggunakan media filter ijuk, silika, zeolite, dan arang aktif dengan nilai BOD sebelum dilakukan filtrasi adalah 87, 64 mg/L

menjadi 56,98 mg/L). (Supradata, 2005) mengatakan bahwa penurunan konsentrasi COD yang sejalan dengan konsentrasi BOD menunjukkan bahwa sebagian besar bahan organik dalam air limbah adalah bahan organik yang dapat terdegradasi secara biologis. Hal ini juga sejalan dengan pendapat (Effendi, 2003) yang menyatakan bahwa sekitar 70% dari komposisi padatan dalam limbah domestik adalah bahan organik.

Penurunan kadar COD ini disebabkan oleh kinerja yang baik dari media zeolit dan karbon aktif. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Sulianto dkk, 2020), yang menunjukkan bahwa penggunaan media filter karbon aktif dan zeolit dapat efektif menyerap polutan *greywater*, sehingga menghasilkan penurunan kadar COD yang signifikan dimana nilai awal COD adalah 189.5 menjadi 57,67 mg/L . Pada proses filtrasi, media karbon aktif dan zeolit berperan sebagai pemisah yang efisien, mampu menghilangkan polutan mikro dari air limbah seperti zat organik dan deterjen. Semakin lama limbah berada dalam reaktor pengolahan, semakin besar nilai penurunan kadar pencemarnya. (Kholif, dkk, 2020). (Masduqi, 2012), menyatakan bahwa bahan organik dikelompokkan sebagai organik biodegradable dan nonbiodegradable. Penyisihan bahan organik biodegradable dilakukan melalui proses biologis yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk mengurai bahan organik. Selain itu, penyisihan bahan organik juga dapat dilakukan melalui adsorpsi menggunakan karbon aktif.

Menurut (Ronny & Syam, 2018), semakin tebal lapisan media pasir silika dan karbon aktif akan menghasilkan penurunan kadar COD yang lebih besar karena media tersebut memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan media berpengaruh positif terhadap penurunan kadar COD dalam air limbah. Karbon aktif memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar COD sebesar 10% hingga 60%, sementara zeolit mampu menurunkan kadar COD sebesar 10% hingga 40%. Oleh karena itu, efisiensi penurunan kadar COD lebih tinggi media karbon aktif dibandingkan pada media zeolit. (Sari, 2007).

Dalam penelitian ini, terdapat temuan bahwa nilai COD lebih tinggi daripada BOD. Meskipun keduanya menunjukkan penurunan yang serupa, COD lebih tinggi dari BOD karena jumlah materi atau senyawa yang teroksidasi saat pengujian lebih besar. Ini disebabkan oleh kemampuan COD untuk mengoksidasi partikel-partikel padat yang dihasilkan oleh bahan organik dalam uji COD. Hal ini sesuai dengan teori (Fardiaz, 1992) yang menyatakan bahwa COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan uji BOD. Ini terjadi karena materi-materi yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme juga dapat teroksidasi dalam uji COD. Hasil uji menunjukkan bahwa pada menit ke-2, terlihat peningkatan pada parameter TSS, COD, dan BOD. Hal ini mungkin disebabkan oleh kondisi saat pengambilan sampel di mana filter masih dalam tahap pencucian.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Kemampuan filtrasi menurunkan konsentrasi COD terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 32,5 mg/L dengan nilai efektivitas sebesar 69 %. Konsentrasi BOD terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 5,7 mg/L dengan nilai efektivitas sebesar 21 %. Konsentrasi COD terbaik pada ketebalan 25 cm sebesar 6,5 mg/L dengan nilai efektivitas sebesar 89%.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Diperlukan pengujian lanjutan dengan parameter lain, seperti Minyak dan Lemak, Amoniak, serta Total Coliform
2. Menambahkan variasi ketebalan media filter dan waktu pengambilan sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chrisafitri, Rr, A., dan Karnaningroem, N., 2012. Pengolahan air limbah pencucian mobil dengan reaktor saringan pasir lambat dan karbon aktif. Jurnal Prosiding MMT-ITS, Volume XVI Hal (E-1-1)–(E-1-8) Surabaya 14 juli.
- Dewi, Y. S., & Buchori, Y. (2016). Penurunan COD, TSS Pada Penyaringan Air Limbah Tahu Menggunakan Media Kombinasi Pasir Kuarsa, Karbon Aktif, Sekam Padi dan Zeolit. Jurnal Universitas Satya Negara Indonesia, 9(1), 76.
- Effendi, H., 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta : Kanisius.
- Eryanto, B., Bakar, T. A., dan Musrizal, M. (2013). Domestik Studi Kasus Rusunawa Blok D Universitas Hasanuddin. Jurnal Sains dan Teknologi. Vol. 13(2). Hal:156-163. ISSN 1411-4674
- Fardiaz, Srikandi., 1992. Polusi Air & Udara. Bogor: Kanisius.
- Handayani, S, D., 2013, Kajian pustaka potensi pemanfaatan *greywater* sebagai air siram wc dan air siram tanaman di rumah tangga. Jurnal Presipitasi Vol.10 No.1 Hal 41-50.
- Juliandini, F., dan Trihadiningrum, Y., 2008. Uji kemampuan karbon aktif dari limbah kayu dalam sampah kota untuk penyisihan fenol. Jurnal Prosiding manajemen teknologi VII Surabaya 2 Pebruari 2008.
- Kholif, M. A., Alifia, A. R., Pungut., Sugito., & Sutrisno, J. (2020). Kombinasi Teknologi Filtrasi dan Anaerobik Buffled Reaktor (ABR) Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia, 15(2), 22.
- Lestari, Y, D., 2010. Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai Negara. Jurnal Prosiding 30 Oktober Universitas Negeri Yogyakarta : Yogyakarta.
- Martin , HB, Aan., 1996. Pemanfaatan alumino siliko fosfat untuk peyerapan fluor dan ammonium. Jurnal Prosiding PEBN-BATAN Jakarta 19-20 Nop. Vol 2, Hal 333-346.

- Maryani, D., Masduqi, A., & Moesriati, A. (2014). Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi Pada Sand Filter Dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), D-81.
- Oteng-Peprah M, de Vries NK, Acheampong MA. *Greywater* characterization and generation rates in a peri urban municipality of a developing country. *Journal of Environmental Management*. 2018;206:498–506. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.10.068.
- Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan Kadar BOD dan COD Dalam Limbah Cair Laundry Menggunakan Kombinasi Adsorben Alam Sebagai Media Filtrasi. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(2), 56-57.
- Ronny., & Syam, D. M. (2018). Aplikasi Teknologi Saringan Pasir Silika dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Mitra Husada Makassar. *Higiene*, 4(2), 65.
- Sari, R. P. (2007). Penurunan Konsentrasi COD (*Chemical oxygen demand*) dan Minyak Lemak Pada Limbah Cair Pencucian Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Reaktor Aerokarbonbiofilter. Universitas Islam Indonesia.
- Selintung, M., dan Syahrir, S., 2012. Studi pengolahan air melalui media filter pasir kuarsa (Studi Kasus Sungai Malimpung). *Jurnal Prosiding*. Desember. Vol 6 Hal TS9 1 – TS9 10.
- Sembel, Dantje, T., 2015. Toksikologi Lingkungan. Buku. Andi Offset ; Yogyakarta.
- Setiawan., 2007. Reduksi warna dan BOD limbah tekstil menggunakan karbon-TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Prosiding PPI-PDIPTB BATAN* .Yogyakarta, 10 Juli Hal 35-41
- Setiyono., 2009. Desain perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dan reuse air dilingkungan perhotelan. *Jurnal JAI* Vol 5 Hal 162-172.
- Slamet., Bismo, S., Arbianti, R., dan Sari, Z., 2006. Penyisihan fenol dengan kombinasi proses adsorpsi dan fotokatalisis menggunakan karbon aktif dan TiO<sub>2</sub>. *Jurnal teknologi Edisi No.4* Hal 303-311.
- Sugiarto. 2008. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta:UI Press.

- Sujarwo, W., 2007. Pengaruh lama dan suhu aktivasi terhadap kualitas dan struktur kimia arang aktif dari ampas tebu untuk peningkatan kualitas air konsumsi di kecamatan geyer grobongan. Tesis. Sekolah Pascasarjana UGM : Yogyakarta.
- Sulianto, A. A., Kurniati, E., & Hapsari, A. A. (2020). Perancangan Unit Filtrasi Untuk Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Downflow. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 6(3), 33-37.
- Sutarti, M., dan Rachmawati, M., 1994. LIPI. Pusat dokumentasi dan informasi LIPI. Zeolit : Tinjauan literatur. Jakarta.
- Wahistina, R., Ellyke., & Pujiati, R. S. (2013). Analisis Perbedaan Penurunan Kadar BOD dan COD Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Zeolit (Studi di Pabrik Tahu di Desa Kraton Kecamatan Kencong Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*.



## LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Tabel Pengujian COD, BOD, dan TSS.

15 cm			
No.	Menit	COD (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	104,4	0
2	2	83,2	20
3	6	59,3	43
4	10	57,9	45

20 cm			
No.	Menit	COD (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	104,4	0
2	2	87,5	16
3	6	56,5	46
4	10	55,1	47

25 cm			
No.	Menit	COD (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	104,4	0
2	2	86,1	18
3	6	32,5	69
4	10	36,8	65

15 cm			
No.	Menit	BOD (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	7,2	0
2	2	7	3
3	6	6,8	6
4	10	6,7	7

20 cm			
No.	Menit	BOD (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	7,2	0
2	2	5,8	19
3	6	5,9	18
4	10	5,7	21

25 cm			
No.	Menit	BOD(mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	7,2	0
2	2	6	17
3	6	6,2	14
4	10	6,2	14

15 cm			
No.	Menit	TSS (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	61,1	0
2	2	50	18
3	6	39	36
4	10	23	62

20 cm			
No.	Menit	TSS (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	61,1	0
2	2	40,7	33
3	6	38,2	37
4	10	14,4	76

25 cm			
No.	Menit	TSS (mg/L)	Efektifitas (%)
1	0	61,1	0
2	2	42,8	30
3	6	14,8	76
4	10	6,5	89

## Lampiran 1. 2 Dokumentasi

