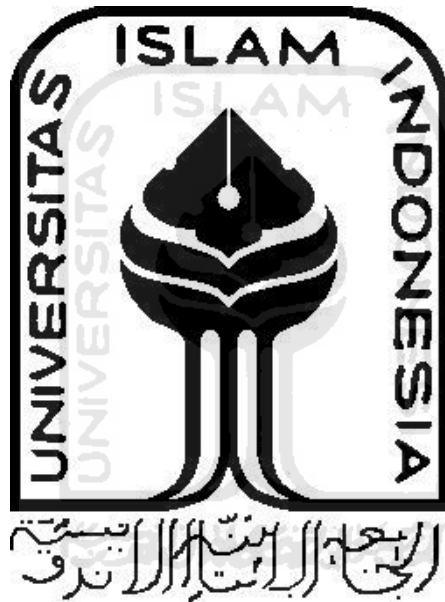


TA/TL/2020/1259

**TUGAS AKHIR**

**REAKTOR PORTABEL UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH  
LAUNDRY DENGAN METODE FITOREMEDIASI DAN  
FILTRASI**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**M Faridh Al Fadhli**

**16513075**

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

**2020**

## TUGAS AKHIR

### REAKTOR PORTABEL UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH LAUNDRY DENGAN METODE FITOREMEDIASI DAN FILTRASI

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh  
Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



**M FARIDH AL FADHLI**

**16513075**

Disetujui,

**Dosen Pembimbing**



**Eko Siswovo, ST, MSc.ES, Ph.D.**

**NIK : 025100406**

**Tanggal: 15 Oktober 2020**

Mengetahui,

Kepala Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



**Eko Siswovo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.**

**NIK : 025100406**

**Tanggal: 24 Desember 2020**



**HALAMAN PENGESAHAN**  
**REAKTOR PORTABEL UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH**  
**LAUNDRY DENGAN METODE FITOREMEDIASI DAN**  
**FILTRASI**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 24 Desember 2020

Disusun Oleh :  
**M FARIDH AL FADHLI**  
**16513075**




**Tim Penguji :**

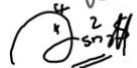
**Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D**

(  )

**Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T**

(  )

**Luthfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc**

(  )



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 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 tanggungjawab 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, 15 Oktober 2020



M Faridh Al Fadhli

NIM: 16513075

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## PRAKATA

Alhamdulillahirabbil alamin penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala berkah dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak 21 Juni 2020 ini adalah Reaktor PorTabel Untuk Mengolah Air Limbah *Laundry* Dengan Metode Fitoremediasi dan Filtrasi. Laporan Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar sarjana di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Laporan tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Allah SWT karena telah memberikan nikmat yang tidak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ayah Suharyoko S.E dan Sri Mulyati S.E selaku ayah dan bunda penulis yang selalu memberikan dukungan, nasehat, dan doa yang tak ada habisnya sedari dini.
3. Bapak Eko Siswoyo, ST, MSc.ES, MSc, Ph.D. Selaku bapak penulis selama berkuliah di Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII yang selalu membimbing baik dari akademik, non akademik, hingga tugas akhir ini.
4. Pengurus Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII yang telah membersamai penulis selama perkuliahan hingga pengerjaan tugas akhir.
5. Saudara-saudari satu tingkat Program Studi Teknik Lingkungan angkatan 2016 yang selalu memberi dukungan penuh selama masa kuliah penulis.
6. Rismanda Julia Putri, S.Farm yang telah membantu tugas akhir penulis.
7. Semua teman-teman penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis hingga di titik ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk laporan ini agar lebih mendekati dari kata sempurna. Semoga laporan ini dapat menjadi referensi penelitian yang berguna bagi nusa dan bangsa.

Yogyakarta, 15 Oktober 2020



M Faridh Al Fadhli





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

M Faridh Al Fadhli. Reaktor PorTabel Untuk Mengolah Air Limbah *Laundry* dengan Metode Fitoremediasi dan Filtrasi. Pembimbing Eko Siswoyo, ST, M.Sc,ES, Ph.D.

Pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan kebutuhan akan jasa cuci cepat. Namun, belum ada pengolahan air limbah *laundry* yang ekonomis dan dapat digunakan pengusaha *laundry* untuk mengolah limbahnya terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu perlu adanya penelitian ini yang menguji tentang tingkat efektifitas reaktor untuk mendegradasi kandungan air buangan cucian. Penelitian ini menggunakan tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) dengan kerapatan tanaman Kayu Apu sebesar  $35\text{mg}/\text{cm}^2$ . Selain menggunakan Kayu Apu, penelitian ini juga menggunakan batu zeolit berukuran 2 cm dan pasir silika sebagai filtrasi berukuran 0,3 mm. Pengolahan limbah *laundry* dengan menggunakan reaktor dengan metode fitoremediasi dan filtrasi mampu menurunkan kadar COD sebesar 89% (333,33 mg/L), TSS sebesar -33% (+3,5 mg/L), TDS sebesar 3% (50mg/L), dan Deterjen sebesar 95% (214,28 mg/L).

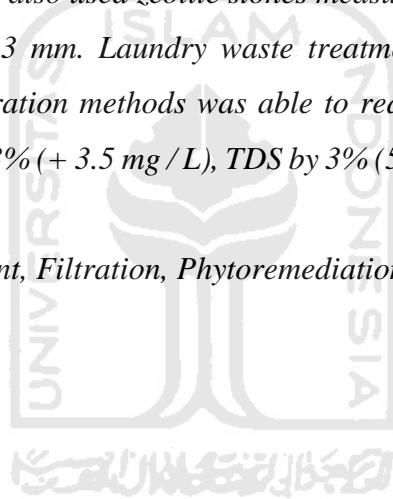
*Kata Kunci*-COD, Deterjen, Fitoremediasi, Filtrasi, TDS, TSS.

## ABSTRAK

M Faridh Al Fadhli. *Portable Reaktor To Treat Laundry Waste Water Treatment With Phytoremediation and Filtration*. Eko Siswoyo, ST, MSc.ES, MSc, Ph.D as a supervisor.

*Population growth is directly proportional to the need for fast washing services. However, there is no economical laundry wastewater treatment that can be used by laundry entrepreneurs to treat their waste first before discharging it into the environment. Therefore, it is necessary for this research to test the effectiveness of the reactor to degrade the content of washing waste water. This research used Apu Wood (*Pitstia Stratiotes*) with a plant density of 35mg / cm<sup>2</sup> Apu wood. Apart from using Apu wood, this study also used zeolite stones measuring 2 cm and silica sand as filtration measuring 0.3 mm. Laundry waste treatment using a reactor with phytoremediation and filtration methods was able to reduce COD levels by 89% (333.33 mg / L), TSS by -33% (+ 3.5 mg / L), TDS by 3% (50mg / L) , and Detergent at 95% (214.28 mg / L).*

*Keyword- COD, Detergent, Filtration, Phytoremediation, TDS, TSS.*



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN .....	vi
PRAKATA.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Penelitian.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	3
BAB II.....	6
2.1 Limbah Laundry .....	6
2.2 Kasus Pencemaran Akibat Limbah Cucian di Yogyakarta.....	7
2.2.1 Sungai Progo.....	7
2.2.2 Sungai Code.....	8
2.2.3 Sungai Opak.....	8
2.3 Parameter Analisis.....	9
2.3.1 COD (Chemical Oxygen Demand).....	9
2.3.2 TSS (Total Suspended Solid).....	9
2.3.3 TDS (Total Dissolved Solid) .....	10
2.3.4 Deterjen.....	10
2.4 Metode Pengolahan Reaktor.....	11
2.4.1 Fitoremediasi .....	12
2.4.2 Filtrasi .....	14
2.5 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III .....	19
3.1 Design Reaktor .....	19
3.2 Cara Kerja Reaktor .....	21

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.4 Metode Uji dan Pengolahan Data.....	21
3.4.1 Metode Uji dan Parameter Penelitian .....	22
3.4.2 Pengolahan Data .....	22
3.5 Variabel Penelitian .....	22
3.6 Prosedur Penelitian.....	23
3.7 Teknis Uji.....	29
3.7.1 COD .....	29
3.7.2 TSS.....	32
3.7.3 TDS.....	33
3.7.4 Deterjen.....	34
3.7 Teknik Sampling .....	36
3.8 Objek Penelitian .....	36
BAB IV .....	38
4.1 Pengolahan Air Limbah Laundry .....	38
4.2 Penentuan Material.....	38
4.3 Karakteristik Sampel (C).....	38
4.3.1 Karakteristik Sampel Hari ke-0.....	39
4.3.2 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C <sub>1</sub> ).....	40
4.3.3 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C <sub>2</sub> ).....	41
4.3.4 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C <sub>3</sub> ).....	42
4.3.5 Karakteristik Sampel Hari Ke-1 (C <sub>4</sub> ).....	43
4.4 Analisis Persentase Removal Pada Treatment Fitoremediasi.....	44
4.4.1 COD .....	44
4.4.2 TSS.....	46
4.4.3 TDS.....	49
4.4.4 Deterjen.....	52
4.5 Analisis Persentase Removal Pada Treatment Filtrasi .....	55
4.5.1 COD .....	55
4.5.2 TSS.....	58
4.5.3 TDS.....	61
3.2 Cara Kerja Reaktor .....	2.1

4.5.4 Deterjen.....	63
4.6 Analisis Kinerja Keseluruhan Treatment .....	66
BAB V .....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA .....	74
LAMPIRAN.....	78





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Laundry .....	7
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu .....	15
Tabel 4.1 Hasil Uji Sampel Hari ke-0 .....	39
Tabel 4.2 Hasil Uji Sampel Pertama (C <sub>1</sub> ) .....	40
Tabel 4.3 Hasil Uji Sampel Kedua (C <sub>2</sub> ) .....	41
Tabel 4.4 Hasil Uji Sampel Ketiga (C <sub>3</sub> ) .....	42
Tabel 4.5 Hasil Uji Sampel Keempat (C <sub>4</sub> ) .....	43
Tabel 4.6 Persentase Removal COD C <sub>1</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi .....	44
Tabel 4.7 Persentase Removal COD C <sub>3</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi .....	46
Tabel 4.8 Persentase Removal TSS C <sub>1</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi .....	47
Tabel 4.9 Persentase Removal TSS C <sub>3</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi .....	48
Tabel 4.10 Persentase Removal TDS C <sub>1</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi .....	50
Tabel 4.11 Persentase Removal TDS C <sub>3</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi .....	51
Tabel 4.12 Persentase Removal Deterjen C <sub>1</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi .....	53
Tabel 4.13 Persentase Removal Deterjen C <sub>3</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi .....	54
Tabel 4.14 Persentase Removal COD C <sub>2</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi dan Filtrasi .....	56
Tabel 4.15 Persentase Removal COD C <sub>4</sub> Dengan Treatment Filtrasi .....	57
Tabel 4.16 Persentase Removal TSS C <sub>2</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi dan Filtrasi .....	59
Tabel 4.17 Persentase Removal TSS C <sub>4</sub> Dengan Treatment Filtrasi .....	60
Tabel 4.18 Persentase Removal TDS C <sub>2</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi dan Filtrasi .....	61
Tabel 4.19 Persentase Removal COD C <sub>4</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi dan Filtrasi .....	63
Tabel 4.20 Persentase Removal Deterjen C <sub>2</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi dan Filtrasi .....	64
Tabel 4.21 Persentase Removal Deterjen C <sub>4</sub> Tanpa Treatment Fitoremediasi .....	65
Tabel 4.22 Persentase Keberhasilan Penurunan Kadar Keseluruhan .....	66
Tabel 4.23 Hasil Reaktor Limbah Laundry .....	69
Tabel 4.24 Kondisi Tanaman 0-4 Hari .....	70





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 - Reaktor Kontainer Box .....	19
Gambar 3.2 - Reaktor Ember .....	20
Gambar 3.3 - Cara Kerja Reaktor.....	21
Gambar 3.4 - Diagram Alir Prosedur Penelitian Secara Umum .....	24
Gambar 3.5 - Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-0.....	25
Gambar 3.6 - Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-1 .....	26
Gambar 3.7 - Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-2.....	27
Gambar 3.8 - Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-3.....	28
Gambar 3.9 - Cara Pembuatan Kurva Kalibrasi COD .....	30
Gambar 3.10 - Cara Uji COD.....	31
Gambar 3.11 - Cara uji TSS .....	32
Gambar 3.12 - Cara uji TDS.....	33
Gambar 3.13 - Cara Pembuatan Kurva Kalibrasi Deterjen .....	34
Gambar 3.14 - Cara Uji Deterjen .....	35
Gambar 4.1 - Grafik Penurunan COD C <sub>1</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	44
Gambar 4.2 - Grafik Penurunan COD C <sub>3</sub> Tanpa <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	45
Gambar 4.3 - Grafik Penurunan TSS C <sub>1</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	47
Gambar 4.4 - Grafik Penurunan TSS C <sub>3</sub> Tanpa <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	48
Gambar 4.5 - Grafik Penurunan TDS C <sub>1</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	49
Gambar 4.6 - Grafik Penurunan TDS C <sub>3</sub> Tanpa <i>Treatment</i> Fitoremediasi.....	50
Gambar 4.7 - Grafik Penurunan Deterjen C <sub>1</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi ...	53
Gambar 4.8 - Grafik Penurunan Deterjen C <sub>3</sub> Tanpa <i>Treatment</i> Fitoremediasi .....	54
Gambar 4.9 - Grafik Penurunan COD C <sub>2</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi dan Filtrasi .....	55
Gambar 4.10 - Grafik Penurunan COD C <sub>4</sub> Dengan <i>Treatment</i> Filtrasi .....	57
Gambar 4.11 - Grafik Penurunan COD C <sub>2</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi dan Filtrasi .....	58
Gambar 4.12 - Grafik Penurunan TSS C <sub>4</sub> Dengan <i>Treatment</i> Filtrasi.....	60
Gambar 4.13 - Grafik Penurunan COD C <sub>2</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi, dan Filtrasi .....	61

Gambar 4.14 - Grafik Penurunan TDS C <sub>4</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi dan Filtrasi .....	62
Gambar 4.15 - Grafik Penurunan Deterjen C <sub>2</sub> Dengan <i>Treatment</i> Fitoremediasi dan Filtrasi .....	64
Gambar 4.16 - Grafik Penurunan Deterjen C <sub>4</sub> Tanpa <i>Treatment</i> Fitoremediasi ...	65
Gambar 4.17 - <i>Grafik persentase Removal COD</i> .....	67
Gambar 4.18 - <i>Grafik persentase Removal TSS</i> .....	67
Gambar 4.19 - Grafik persentase Removal TDS .....	68
Gambar 4.20 - Grafik persentase Removal Deterjen .....	68



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 - Hasil Pengujian Sampel C <sub>0</sub> .....	78
Lampiran 2 - Hasil Pengujian Sampel C <sub>1</sub> .....	78
Lampiran 3 - Hasil Pengujian Sampel C <sub>2</sub> .....	78
Lampiran 4 - Hasil Pengujian Sampel C <sub>3</sub> .....	79
Lampiran 5 - Kondisi Tanaman 0 Jam.....	80
Lampiran 6 - Kondisi Tanaman 24 Jam.....	81
Lampiran 7 - Kondisi Tanaman 72 Jamlampir.....	82
Lampiran 8 - Kondisi Tanaman 96 Jam.....	83





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Populasi di kota Yogyakarta akan dipastikan selalu meningkat dengan bertambahnya kuota di kampus yang berada di Kota Yogyakarta memiliki dampak samping bagi ekonomi, yakni bertambahnya peluang usaha di bidang jasa cuci cepat. Usaha cucian merupakan kegiatan usaha yang cukup praktis dan solusi mengenai pakaian, terutama di perkotaan. Namun, hasil samping dari usaha cucian ialah limbah yang terdapat surfaktan dan sulit terdegradasi serta berbahaya bagi lingkungan hingga kesehatan (Aminatun, 2016).

Bahan deterjen merupakan senjata utama dalam membersihkan pakaian di industri cucian rumahan, selain karena cukup murah, sifat deterjen juga sebagai pembersih yang cukup efektif dibandingkan dengan sabun biasa. Senyawa utama yang terkandung dalam deterjen ialah natrium trilipofosfat yang berfungsi sebagai builder dan surfaktan (Wardhana, 2012). Senyawa yang berfungsi mengikat daya cuci ialah surfaktan dan fosfat (Sugiarto, 1987).

Limbah dari usaha cucian menjadi salah satu sumber pencemaran di beberapa kota besar, dampaknya ialah adanya busa pada sungai, tumbuhnya mikroorganisme (eutrofikasi) (Ginting, 2007). Gangguan kesehatan yang dapat terjadi bila air limbah *laundry* dikonsumsi secara langsung seperti kanker dan gangguan ginjal (Darmono, 2001). Dampak negatif lainnya bagi kesehatan seperti diare, gatal – gatal, kudis, kurap. Sedangkan dampak lingkungan seperti pencemaran air yang melebihi baku mutu Peraturan Daerah DIY Nomor 7 tahun 2016 hingga dapat merusak ekosistem lingkungan (Nurhayati, 2013).

Berdasarkan studi literatur, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencegah pencemaran air yang tidak diolah dari hasil buangan cucian. Namun, penelitian demi penelitian belum menghasilkan hasil yang efektif, cenderung menghasilkan pengolahan yang membutuhkan lahan yang luas serta perawatan secara berkala. Oleh karena itu, masih dibutuhkan reaktor yang dapat dipindah

secara mudah dan tidak melebihi baku mutu yang ada (Damayanti dan Maharani, 2013).

Dengan terus bertambahnya kuantitas usaha cucian tanpa adanya pengolahan air buangnya, maka dibutuhkan alat yang nyata untuk mengolah sumber daya air menurut regulasi yang berlaku. Fokus sumber air yang digunakan ialah air limbah cucian. Pada penelitian ini, akan digabungkan beberapa metode seperti fitoremediasi dan filtrasi untuk mengurangi COD, TSS, TDS dan Deterjen agar sesuai dengan Perda DIY nomor 7 tahun 2016.

## 1.2 Rumusan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah, seperti:

1. Berapa persentase keberhasilan dalam penurunan kadar COD, TSS, TDS, dan deterjen pada reaktor pada tahap fitoremediasi?
2. Berapa persentase keberhasilan dalam penurunan kadar COD, TSS, TDS, dan deterjen pada reaktor pada tahap filtrasi?
3. Bagaimana menentukan kinerja optimum reaktor agar dapat digunakan dalam industri *laundry* rumahan dan sesuai dengan Perda DIY nomor 7 tahun 2016?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Melakukan analisis penurunan kadar COD, TSS, TDS, dan deterjen pada reaktor pada tahap fitoremediasi
2. Melakukan analisis penurunan kadar COD, TSS, TDS, dan deterjen pada reaktor pada tahap filtrasi.
3. Melakukan evaluasi kinerja reaktor dalam mengolah limbah *laundry* agar sesuai dengan Perda DIY nomor 7 tahun 2016.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat menciptakan alat yang ekonomis dan berkelanjutan dalam pencemaran limbah cucian di Provinsi Yogyakarta.
2. Memberikan edukasi kepada masyarakat untuk turut serta menjaga lingkungan dengan memasang prototype ini pada usaha cucian nya
3. Memberikan edukasi kepada penelitian berikutnya dalam mencegah maupun mengurangi pencemaran limbah cucian saat ini hingga dimasa yang akan datang kepada BLH kota Jogja.

## 1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup, seperti:

1. Uji sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP Kampus terpadu UII jalan Kaliurang km 14,5.
2. Sistem pengolahan dari teknologi air limbah cucian meliputi fitoremediasi dan filtrasi.
3. Metode penelitian berdasarkan SNI 06-6989.51-2005 mengenai Cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen (Badan Standardisasi Nasional, 2005).
4. Metode penelitian berdasarkan SNI 6989.2:2009 mengenai Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri (SNI, 2009)
5. Metode penelitian berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 mengenai Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*) secara gravimetri (Badan Standardisasi Nasional, 2004)
6. Metode penelitian berdasarkan SNI 06-6989.27:2005 mengenai Cara uji kadar (padatan terlarut total, TDS) secara gravimetri (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2005)





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah *Laundry*

Deterjen merupakan salah satu faktor pencemaran di lingkungan yang berasal dari limbah domestik. *Natrium Dodecyl Benzen Sulfonat* (NaDBS) dan *Sodium Tripolyphosphat* (STPP) merupakan komponen utama yang sulit di degradasi secara alami (Hermawati, 2005). Menurut Yudo (2010) fosfat mencemari perairan hingga 40%, selebihnya terdapat zat-zat lain seperti  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pemutih dan masih banyak lainnya. Menurut Riyanto (2012) limbah *laundry* termasuk limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Beberapa literatur menuliskan bahwa deterjen yang terkandung di dalam limbah *laundry* memiliki kemampuan melarutkan bahan yang bersifat karsinogenik (Yudo, 2010).

Komposisi dari limbah *laundry* bervariasi, hal ini dikarenakan mengandung kotoran pakaian dan jumlah deterjen yang digunakan. Usaha *laundry*, memiliki komposisi deterjen lebih sedikit bila dibandingkan dengan penggunaan rumah tangga dikarenakan lebih ekonomis. Berikut karakteristik limbah *laundry* yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah *Laundry*

Parameter	Sumber			
	(Eriksson, E., Karina A., Mogen H., 2002)	(Hoinkis & Panten, 2008)	(Ge et al., 2004)	(Savitri, 2010)
Suhu (°C)	28-32	15-30	-	27
Konduktivitas (µS/cm)	190-1400	1900	786-1904	1256-1335
pH	9.3-10	9-11	7.83-9.56	8.29-8.87
Kekeruhan (NTU)	50-210	-	471-583	-
Surfaktan (mg/L)	-	-	72.3-64.5	210.6
COD (mg/L)	725	1050	785-1090	1815
BOD (mg/L)	150-380	-	-	1087
TSS (mg/L)	120-280	-	-	-
Fosfat (mg/L)	4-15	5	-	7.64
Total N (mg/L)	6-21	40	-	-

## 2.2 Kasus Pencemaran Akibat Limbah Cucian di Yogyakarta

### 2.2.1 Sungai Progo

Sungai yang menjadi Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) 2010-2014 ini mengalami penurunan kualitasnya baik secara fisik (DHL dan suhu) maupun secara kimia (pH, BOD, COD, DO, Fosfat dan Nitrat) dalam periode 2009-2013 (Antoro & Purnama, 2014).

Pengambilan sampel pada Sungai Progo dilakukan pada 5 titik yaitu *intake* karangtalun, J. Kebonagung, J. Ngapak, J. Bantar, Bendungan Sapon, dan J. Srandakan. Pada rentang tahun 2009-2013 suhu di Sungai Progo mengalami peningkatan yang disebabkan oleh pemanasan global. Hal ini juga mengakibatkan kandungan oksigen dalam air menjadi berkurang dan organisme Sungai Progo harus dapat beradaptasi dengan hal ini. Sedangkan perubahan Daya Hantar Listrik (DHL) nya fluktuasi, yang tertinggi ialah pada tahun 2012 dengan nilai DHL kurang lebih 300 µmhos/cm. Nilai pH pada Sungai juga mengalami fluktuasi, yang tertinggi ialah pada tahun 2010 dengan nilai >8 di tahun 2010. DO, mengalami

penurunan, sehingga nilai BOD bertambah. Sedangkan COD hanya mampu melampaui nilai ambang batas baku mutu pada tahun 2009 di Bendungan Sapon dan 2012 di jembatan Ngapak dengan nilai 26 mg/l. perubahan kualitas air di Sungai Progo di sebabkan oleh volume limbah yang tidak terkontrol (Imroatushshoolikhah, 2014).

### **2.2.2 Sungai Code**

Sungai Code membelah kota Yogyakarta menjadi dua dan melewati tiga kabupaten, Sleman, Yogyakarta dan Bantul dan memiliki luas  $\pm 4.006,25$  Ha (Norma, 2007). Penelitian yang dilakukan oleh Imroatushshoolikhah (2014) untuk mengkaji kualitas air sungai Code dengan 10 lokasi sampling yaitu (1) Jembatan Ngentak, (2) jembatan Krikilan, (3) jembatan Pogung, (4) Jembatan Gondolayu, (5) Jembatan Keparakan, (6) Jembatan Tungkak, dan (7) Jembatan Karangajen, (8) Jembatan Abang, (9) jembatan Wonokromo, (10) Jembatan Kembang Songo. Berdasarkan rerata hasil analisis kualitas air secara umum terdapat tiga parameter kualitas air yang hampir di setiap lokasi tidak memenuhi nilai ambang batas baku mutu yaitu fosfat, kekeruhan dan sulfida, sedangkan parameter yang lainnya cenderung masih berada dibawah standar baku mutu. Konsentrasi BOD, COD, kekeruhan, nitrat, dan fosfat cenderung meningkat drastis setelah melewati lokasi 5 yang berada di Daerah Keprakan, Kota Yogyakarta. Konsentrasi fosfat di Sungai Code bersifat fluktuatif dengan kisaran antara 0,32 – 1,28 mg/L. Konsentrasi fosfat di semua lokasi penelitian berada diatas standar baku mutu yang ditentukan yaitu 0,2 mg/L. Konsentrasi sulfida di Sungai Code berfluktuasi dengan kisaran antara 0,001 – 0,019 mg/L. Hampir diseluruh lokasi penelitian konsentrasi sulfida berada di atas baku mutu yang ditentukan. Suhu pada lokasi penelitian berkisaran antara 25 – 29oC. Nilai kekeruhan tertinggi terjadi pada lokasi 8 yaitu Jembatan Abang sebesar 46,5 FTU. Nilai pH berkisar antara 7,32 – 7,86. Nilai DO berikisar pada rentang 5,8 – 7,4 mg/L, dan tertinggi pada lokasi Jembatan Ngentak sebesar 7,4 mg/L. Nilai BOD dan COD tertinggi didapatkan pada lokasi jembatan Wonokromo sebesar 3,1 mg/L dan 13,7 mg/L. Kadar Nitrat tertinggi didapatkan pada lokasi Jembatan Kembang songo sebesar 24,5 mg/L.

### **2.2.3 Sungai Opak**

Sungai Opak merupakan Sungai dengan status tercemar yang disebabkan oleh manusia, khususnya buangan limbah deterjen dari pemukiman. Selain berpengaruh pada menurunnya kualitas air, namun juga memengaruhi dari masyarakat di tepi Sungai baik secara langsung ataupun tidak. Selain dikarenakan manusia, juga diakibatkan oleh musim. Pada musim kemarau, suhu air sungai mengalami

peningkatan kekeruhan karena kedalaman air sungai cenderung turun. Musim penghujan yang meningkatkan kuantitas air dapat membantu air untuk meningkatkan kualitasnya sendiri (*self purification*) dari polutan. Perpindahan dari udara ke badan air yang mengakibatkan turbulensi disebut dengan proses reaerasi, sehingga *self purification* dapat terjadi (KepMenLH 110/2003). Pada data DLH Kabupaten Bantul tahun 2010 menunjukkan bahwa kandungan BOD, COD di hilir Sungai Opak telah melewati nilai ambang batas baku mutu dari Pergub Nomor 20 Tahun 2008 Mutu Air Kelas II.

Penelitian tentang kualitas air di Sungai Opak pada 5 lokasi dengan parameter pH, BOD, TSS, DO, Nitrat, COD dan Fosfat yang dilakukan oleh Nugroho (2019) terkait indeks pencemaran, didapat hasil uji TSS melebihi baku mutu air kelas II. Sedangkan nilai dari pH, BOD, DO, Nitrat, COD dan Fosfat memenuhi baku mutu air kelas II (Nugroho, 2019).

## **2.3 Parameter Analisis**

### **2.3.1 COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

COD merupakan salah satu pencemar yang terdapat dalam limbah cucian. Kadar COD yang melebihi baku mutu berarti telah terjadi pencemaran di perairan tersebut. Dampaknya seperti mengganggu kehidupan organisme air. Apabila COD dapat dikendalikan sebelum di buang ke dalam drainase atau Daerah Aliran Sungai (DAS), maka dapat mencegah dampak negatifnya (Mahida, U, 2008).

OD (*Oxygen Dissolved*) merupakan salah satu parameter penting sebagai parameter yang menilai kualitas air. Semakin tinggi kadar OD, maka semakin baik kualitas air tersebut (Andara et al., 2014). Berkurangnya oksigen terlarut dalam air yang melalui proses mikrobiologis oksidasinya dari zat organik secara ilmiah menandakan bahwa kadar COD nya tinggi (Luvita, 2016). Apabila dapat dikendalikan sebelum di buang ke dalam *drainase* atau Daerah Aliran Sungai (DAS), maka dapat mencegah dampak negatif yang terjadi (Mahida, U, 2008).

### **2.3.2 TSS (*Total Suspended Solid*)**

Ialah partikel-partikel yang tersuspensi atau zat padat baik biotik maupun abiotik. Sebagai tempat membentuknya endapan di awal dan mencegah komponen organik untuk melakukan reproduksi dalam air. TSS dapat menyebabkan cahaya matahari tidak bekerja secara efektif di permukaan perairan ataupun pada bagian

yang lebih dalam karena terhalangan oleh zat padat yang tersuspensi, sehingga dapat mengganggu fotosintesis (Tarigan dan Edward, 2010).

TSS menjadi salah satu parameter untuk mengukur kualitas air (Andini, 2015). Dalam analisis kualitas air yang tercemar atau tidak, TSS dapat digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi buangan domestik, efisiensi pengolahan, serta volume air yang dapat memengaruhi kekeruhan dalam air. Peningkatan TSS pada perairan akan menyebabkan peningkatan penyakit dan menyebabkan kematian ikan secara langsung (Aisyah S dan Subehi K., 2012).

### **2.3.3 TDS (*Total Dissolved Solid*)**

TDS merupakan semua zat padat seperti kation-anion yang larut dalam air dengan satuan per Milion (ppm). Sumber zat organik berasal dari plankton, pestisida dan lainnya. Sedangkan zat anorganik berasal dari udara dan batuan yang mengandung nitrogen, sulfur dan mineral lainnya. Menyatunya logam dan non logam dalam kandungannya berasal dari seluruh zat berbentuk garam yang biasanya terlarut dalam air dalam bentuk ion positif dan negative. Saat melewati pipa, air juga membawa tembaga dan timah (Rinawati et al., 2016).

Berubahnya konsentrasi kandungan TDS tentunya berbahaya karena menyebabkan perubahan-perubahan lainnya, seperti salinitas. Berubahnya salinitas mengganggu kehidupan biota air hingga mengakibatkan toksik yang tinggi pada organisme (Weber-Scannell & Duffy, 2007). Tingginya konsentrasi TDS dapat menyebabkan konduktivitas listrik yang tinggi dan dapat mempercepat proses korosi. Pengurangan TDS dapat dicapai dengan pengurangan masing – masing komponen dari TDS (Elvita dan Via, 2018).

### **2.3.4 Deterjen**

Deterjen menjadi prioritas industri dalam upaya menghilangkan noda pakaian yang dapat digunakan dalam industri *laundry* hingga dalam rumah tangga. Tersusun dari tiga komponen seperti; surfaktan (20-30%), fosfat (70-80%) dan bahan pewangi serta pemutih (2-8%). Surfaktan berguna untuk mengikat noda, oleh karena itu kekuatan dari deterjen tergantung pada jenis surfaktannya (Othmer, 1982).

Dampak negatif dari deterjen baik secara langsung ataupun tidak langsung dalam air terhadap kondisi fisik hingga kimia. Dampak negatif limbah dalam air seperti mengurangi estetika perairan tersebut, merusak ekosistem biota air hingga mencemari tanah sekitar perairan. Nilai fosfat yang tinggi juga dapat mengakibatkan pertumbuhan gulma air (Bordeau, 1978).

#### **2.3.4.1 Surfaktan**

Surfaktan (kation, anion maupun non ionic) merupakan komponen utama yang terkandung dalam deterjen. Senyawa aktif *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dan *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS) termasuk surfaktan anionik yang terkandung dalam deterjen (Doan & Saidi, 2008). Surfaktan mempunyai rantai kimia yang sukar di degradasi secara alami, dan karena sudah teruji mampu membersihkan noda pakaian, maka dari itu surfaktan banyak digunakan sebagai bahan pencuci (Milton, 1989).

Karakteristik utama surfaktan yakni memiliki gugus polar dan non polar molekul yang dapat di produksi melalui sintesis biokimiawi maupun kimiawi. Sejak 1965 dengan jumlah banyak digunakan untuk menggantikan ABS yang sulit di degradasi. Pemakaian surfaktan meningkat dari tahun ke tahun, surfaktan anionik LAS di produksi kurang lebih 1,5 juta ton/tahun digunakan untuk formula deterjen saat ini (Mary Kensa, 2001).

Selain mampu menghilangkan noda pakaian, surfaktan memiliki dampak membahayakan lingkungan baik kepada biota air hingga tanaman di sekitar perairan (Priyanto, 2006). Menurut Peraturan Daerah D.I.Yogyakarta No.7 Tahun 2016 menyatakan bahwa kadar paling banyak detergen ialah 5 mg/l. Sedangkan beban pencemaran paling banyak detergen adalah 0,1 Kg/Ton. (Peraturan Daerah (PERDA), 2016).

#### **2.4 Metode Pengolahan Reaktor**

Reaktor yang dirakit menggunakan dua metode, fitoremediasi dan filtrasi. Berdasarkan literatur, metode fitoremediasi dan filtrasi adalah metode yang mudah di terapkan bila di implementasikan dalam industri *laundry* rumahan.



## 2.4.1 Fitoremediasi

*Phyto* asal kata Yunani yang memiliki arti tanaman atau tumbuhan, sedangkan *remediation* yakni memperbaiki, membersihkan, atau menyembuhkan. Berdasarkan arti dari dasar kata fitoremediasi (*phytoremediation*), dapat diartikan seperti sistem yang terdiri dari tanaman atau tumbuhan yang berkerjasama dengan air maupun tanah sebagai dasar dari tanaman atau tumbuhan itu sendiri guna mengurangi hingga menghilangkan kadar berbahaya dalam suatu tempat menjadi tidak berbahaya, namun bernilai jual ekonomis. Metode fitoremediasi telah diketahui dan di aplikasikan guna mengolah limbah dan proses nya berlangsung secara alami (Irhamni et al., 2015). Metode yang menggunakan tumbuhan untuk menyerap hingga mendegradasi air limbah baik logam hingga senyawa organik. Beberapa konsep fitoremediasi diantaranya adalah; fitoekstraksi, fitovolatilisasi, fitostabilisasi, fitodegradasi, rhizofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme polutan (Nurmitha dkk., 2013).

### 2.4.1.1 Fitoekstraksi

Fitoekstraksi ialah proses menyerapnya polutan air kedalam tanaman melalui akar tanaman, atau yang biasa disebut hiperakumulator. Setelah terserap dalam tanaman, walau bisa di panen namun tidak boleh di konsumsi, melainkan harus dimusnahkan dan di timbun karena kandungan tanamannya berisikan zat polutan (Jadia and Fulekar, 2009). Dalam metode ini, tanaman harus dapat mentoleran serta mengakumulasi logam berat dalam kadar tinggi didalam daunnya, pertumbuhannya cepat dan tidak disukai oleh binatang ((U.S. EPA, 2000); (Henry, 2000)). Metode ini mampu menurunkan kadar logam, radionuklida dan senyawa organik (Mwegoha, 2008). Menurut Jadia and Fulekar (2009), bunga matahari (*Helianthus annuus*) merupakan tanaman yang mampu digunakan untuk menurunkan kadar radionuklida (radioaktif Cesium-137 dan strontium-90). Keberhasilan dalam metode ini tergantung pada interaksi antara tanaman, logam, tanah dan dipengaruhi oleh iklim (Lasat, 2002).

#### 2.4.1.2 Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi ialah proses menyerapnya polutan ke dalam tanaman dan diubah menguap lalu di transpirasikan oleh tanaman ((U.S. EPA, 2000); (Mwegoha, 2008)). Mercuric merkuri merupakan salah satu logam utama yang berhasil dilakukan pada metode ini, dimana ion merkuri berubah menjadi Hg elemental yang beracun. Akan tetapi, metode ini memiliki kelemahan seperti merkuri yang dilepaskan ke udara akan terdaur ulang dan redeposisi ke laut sehingga menghasilkan metil merkuri (Jadia dan Fulekar, 2009).

#### 2.4.1.3 Fitodegradasi

Fitodegradasi disebut juga sebagai fitotransformasi yang menyerap dan menghancurkan polutan melalui proses metabolisme pada organ tanaman atau dapat juga menggunakan senyawa seperti enzim yang diproduksi tanaman untuk menghancurkan polutan (U.S. EPA, 2000) di dalam tanaman. Metabolism yang melibatkan ezim nitrodictase, laccase, dehalogenase dan nitrilase. Nitroaromatik dan alifatik yang terklorinasi merupakan senyawa organik yang telah di degradasi dari polutan (Mwegoha, 2008). Jenis tanaman yang digunakan harus dapat menyerap polutan dan mendegradasi polutan dari beracun menjadi tidak beracun (U.S. EPA, 2000). Dalam penelitian Mwegoha (2008) menjelaskan bahwa tanaman yang tidak dapat digunakan seperti rerumputan dan pepohonan.

#### 2.4.1.4 Fitostabilisasi

Proses tanaman yang mentransformasi polutan dari dalam tanah dan diubah menjadi senyawa non toksik namun tidak diserap ke dalam tanaman disebut dengan fitostabilisasi. Hasil dari serangkaian proses dalam metode fitostabilisasi berada di dalam tanah (U.S. EPA, 2000). Jenis tanaman yang digunakan dalam metode ini harus dapat menyerap kontaminan dan tidak menyebar ke bagian tanaman tersebut (U.S. EPA, 2000). Prsipitasi dan penyerapan merupakan proses pengurangan kadar logam yang efektif untuk mengurangi kontaminan dalam air (Jadia dan Fulekar, 2009).

#### 2.4.1.5 Rhizofiltrasi

Proses menyerapnya polutan oleh tanaman dengan perairan medium dan konsentrasi polutan yang rendah disebut rhizofiltrasi ((U.S. EPA, 2000); (Mwegoha, 2008); Jadia and Fulekar, 2009). Sama halnya jenis tanaman pada metode fitostabilisasi, namun media yang dipakai dalam metode ini seperti air dibawah tanah, air di permukaan dan tidak berfungsi dengan baik ketika diletakkan pada media tanah (U.S. EPA, 2000); Jadia and Fulekar, 2008). Dalam penelitian Henry (2000) meneliti keuntungan dan kekurangan dalam metode rhizofiltrasi seperti; tanaman yang digunakan ialah tanaman darat maupun tanaman perairan secara insitu. Sedangkan kelemahannya ialah membutuhkan adaptasi seperti parameter pH dengan dilakukan persemaian hingga pembuangan tanaman secara berkala, kontruksi tanki yang dirancang dengan baik atau ditanam dalam rumah kaca serta memahami tentang reaksi kimia yang terjadi

#### 2.4.2 Filtrasi

Proses melewati media berpori guna menghilangkan pencemar yang berada dalam suatu air atau aliran dapat disebut dengan filtrasi. Faktor yang dapat mempengaruhi seperti berikut:

1. Kualitas air baku, karena apabila kualitas air baku nya sudah baik akan semakin mudah dan cepat mengolah air nya.
2. Suhu, suhu idealnya antara 20-30°C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
3. Kecepatan penyaringan, memisahkan bahan tersuspensi dalam penyaringan tidak memengaruhi kecepatan penyaringan, bahkan tidak mempengaruhi hasil efluen nya.
4. Diameter butiran, semakin kecil diameter butiran yang digunakan dalam metode ini maka akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

Adapun fungsi alat filtrasi ialah:

1. Proses pemisahan zat padat atau halus yang menggunakan media berpori.
2. *Removal* terhadap zat padat, kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, besi dan mangan (Soehartono, 2015).

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Sudah ada penelitian terkait pengolahan limbah cucian seperti adsorpsi, filtrasi, bioremediasi, *biosand filter*, karbon aktif dan elektrolisis. Proses menempelnya satu zat ke permukaan zat lainnya karena perbedaan gaya pada permukannya disebut dengan adsorpsi, sedangkan adsorpsi ialah pemisahan zat ke fase padat (Eddy, 1991). Karbon yang sudah diaktifkan dan memiliki daya serap yang tinggi terhadap bau, warna dan sebagainya dapat disebut dengan karbon aktif yang memiliki sifat amorf, memiliki warna hitam, tidak berbau, tidak beras dan tidak larut dalam air (Jankowska, 1992). Berikut beberapa penelitian terdahulu terkait penurunan kadar air limbah cucian, seperti pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	Pengaruh Ketebalan Media dan <i>Rate Filtrasi</i> pada <i>Sand Filter</i> dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total <i>Coliform</i>	Deni, Ali, dan Atiek;2014	<i>Sand Filter</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Penurunan bakteri <i>Coliform</i> yang paling efektif dengan ketebalan 120cm dan <i>rate filtrasi</i> <math>5\text{m}^3/\text{m}^2</math> dengan persentase 99%</li><li>2. Penurunan kekeruhan yang paling efektif dengan tebal media 100cm dan <i>rate filtrasi</i> <math>5\text{m}^3/\text{m}^2</math> dengan</li></ol>

				<p>persentase 98,27%</p>
2	<p><i>Echinodorus Paleaefolius</i> Sebagai Tanaman Fitoremediasi Dalam Menurunkan Fosfat Limbah Cair <i>Laundry</i></p>	<p>Ayu Maharani, Iin Hindun, dan Sukarsono;2016</p>	<p>Fitoremediasi</p>	<p>Dari hasil penelitian, fitoremediasi menggunakan melati air dapat mendegradasi kadar fosfat dalam kandungan air limbah cucian sebesar 3,451mg.</p>
3	<p>Efisiensi Alat Pengolah Limbah <i>Laundry</i> Untuk Menurunkan Kadar Deterjen di Desa Dukuhwaluh Kecamatan Kembaran Tahun 2016</p>	<p>Maili, Hari, dan Suparmin ;2016</p>	<p>Analisis Univariat</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. pH dan suhu tidak ada perubahan</li> <li>2. Kadar deterjen turun pada debit 50ml/menit sebesar 0,00167 mg/lt dan pada debit 100ml/menit sebesar 0,047mg/lt setelah dilakukan pengolahan.</li> <li>3. Persentase penurunan kadar setelah di olah ialah 50</li> </ol>

				ml/menit sebesar 99,724% dan debit 200 ml/menit sebesar 92,188%
4	Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah <i>Laundry</i> Dengan Menggunakan kayu Apu ( <i>Pistia</i> <i>Stratiotes</i> )	Dea Ghiovani Raissa dan Bieby Voijant Tangahu;2017	Fitoremediasi	Dapat disimpulkan bahwa tanaman Kayu Apu dapat menurunkan kadar BOD sebesar 98% atau 6mg/l, COD sebesar 96% atau 0,07mg/l pada kerapatan kayu apu sebesar 35mg/cm <sup>2</sup> .
5	Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Singkong terhadap Ion Logam Timbal (Pb <sup>2+</sup> )	Deviyanti, Sumiati, dan Netti;2014	Adsorpsi	5. Optimum kontak menggunakan metode adsorpsi dengan arang aktif kulit singkong terhadap ion Pb <sup>2+</sup> selama 100 menit dengan kapasitas adsorpsi nya sebesar 3,1622mg/g



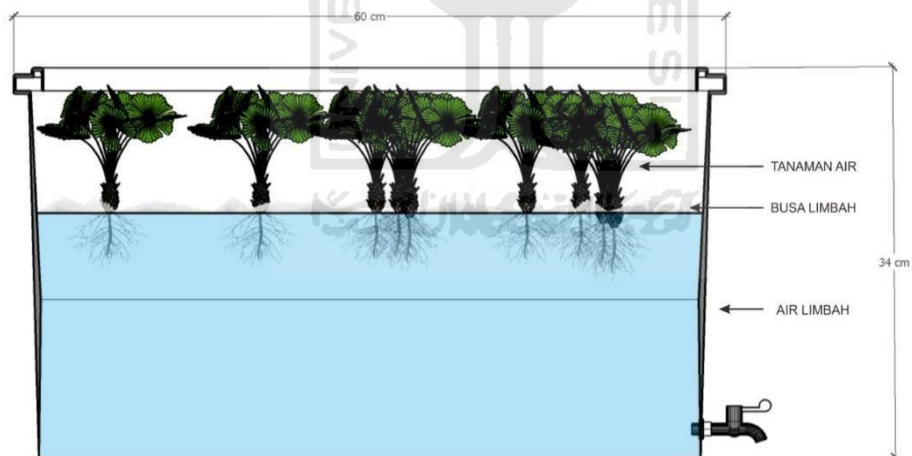
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Design Reaktor

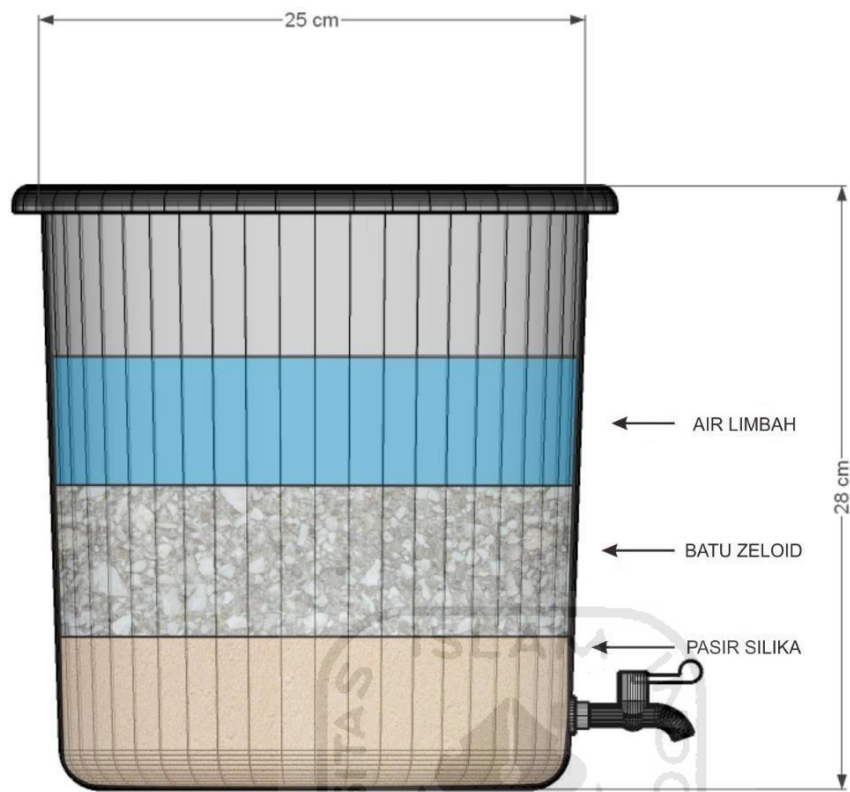
Reaktor dibuat terbuat dari kontainer plastik berkapasitas 80L dengan jumlah 1 box dan sebuah ember dengan dimensi 28 cm x 22,5 cm. Box kontainer plastik tersebut akan ditumpuk menjadi satu dengan dimensi satu box nya ialah P=70cm, L=48cm, T=42,5cm. Box pertama berisikan metode fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu. Lalu di box kedua berisi metode filtrasi menggunakan zeolit dan pasir silika dengan sistem *batch*.

Kelebihan dari alat ini seperti, mudah dipindah atau dibawa kemana pun karena memiliki roda dibawahnya dan tidak beresiko besar pecah karena alat dasarnya berupa plastik box. berkapasitas banyak,  $\pm 80$  L. Tahan air, dan dapat dijangkau oleh masyarakat. Kekurangannya ialah seperti, penggantian material setiap  $\pm 4$  hari sekali untuk memastikan hasil pengolahan tetap terjaga kualitasnya. *Design* reaktor sebagai berikut.



Gambar 3.1 Reaktor Kontainer Box

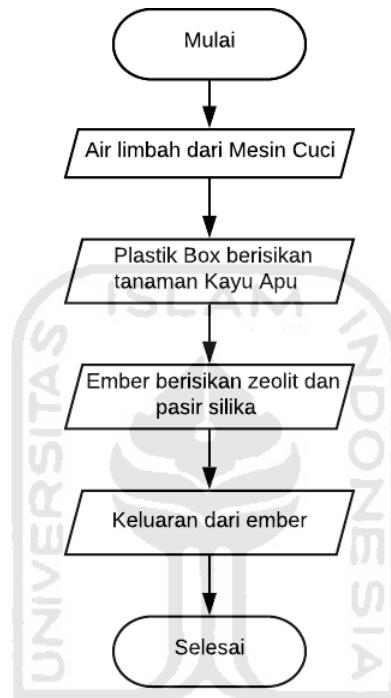




Gambar 3.2 Reaktor Ember

### 3.2 Cara Kerja Reaktor

Pertama-tama air limbah *laundry* di masukan kedalam box plastik yang berisikan tanaman kayu apu untuk diberikan *treatment* fitoremediasi. Air di rendam bersama tanaman kayu apu selama 24 jam. Selama setiap 24 jam sekali, air dari box plastik dimasukkan kedalam ember berisikan batu zeolit dan pasir silika untuk di *treatment* filtrasi. Berikut adalah diagram alir cara kerja reaktor.



Gambar 3.3 Cara Kerja Reaktor

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan dari bulan Juni - September 2020 di Lab Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

### 3.4 Metode Uji dan Pengolahan Data

Metode penelitian ini mengacu pada SNI yang telah di sesuaikan dengan keadaan lapangan dan lab Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan FTSP UII. Berikut adalah metode uji dan cara mengolah data pada penelitian ini:

### 3.4.1 Metode Uji dan Parameter Penelitian

Metode uji yang akan dilakukan akan berpacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan akan diintegrasikan dengan ketersediaan alat dalam Lab Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Pengujian akan dilakukan triplo, selain untuk meminimalisir kesalahan juga untuk mengoptimalkan kuantitas dari material yang akan diletakkan dalam alat pengolahan ini. Berikut adalah parameter pada penelitian ini:

1. Deterjen dengan parameter Surfaktan Anionik dengan Metode penelitian berdasarkan SNI 06-6989.51-2005 mengenai Cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen.
2. *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan metode uji SNI 6989.2:2009 mengenai Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.
3. *Total Suspended Solid* (TSS) dengan metode uji SNI 06-6989.3-2004 mengenai Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid*, TSS) secara gravimetri.
4. *Total Dissolved Solid* (TDS) dengan metode uji SNI 06-6989.27:2005 mengenai Cara uji kadar (*Total Dissolved Solid*, TDS) secara gravimetri.

### 3.4.2 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan dengan cara kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif untuk menentukan kuantitas dari material serta juga memudahkan dalam menuliskan laporan sehingga dapat digambarkan dalam bentuk diagram yang memudahkan pembaca. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mempresentasikan hasil dari pendekatan kuantitatif terkait hasil yang diperoleh, sehingga didapatkan hasil yang optimum untuk kinerja alatnya.

### 3.5 Variabel Penelitian

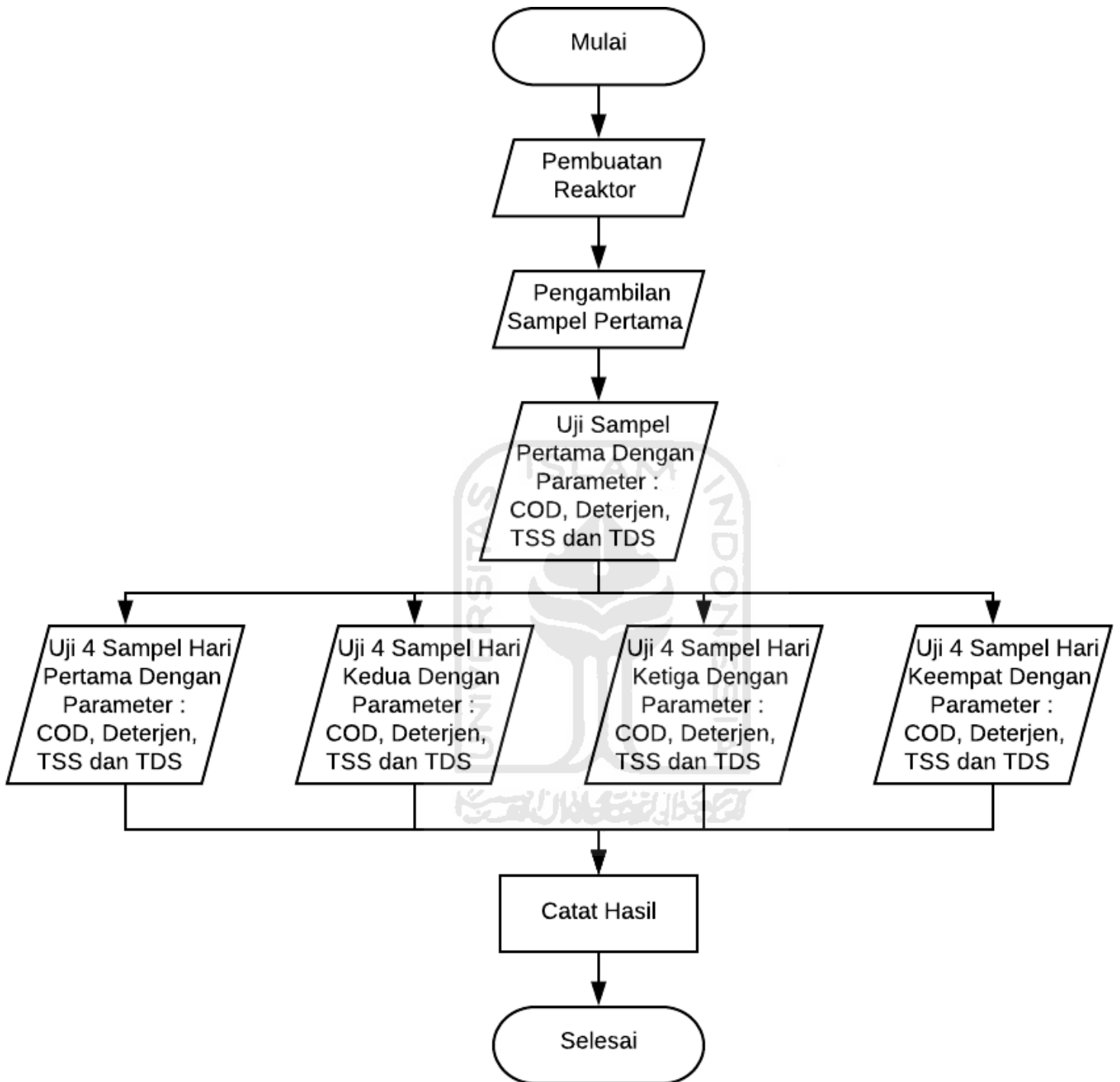
Berikut ialah variabel pada penelitian ini:

1. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu konsentrasi pencemaran yang meliputi parameter TSS, Deterjen, COD, dan TDS.
2. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu lama rendaman fitoremediasi.

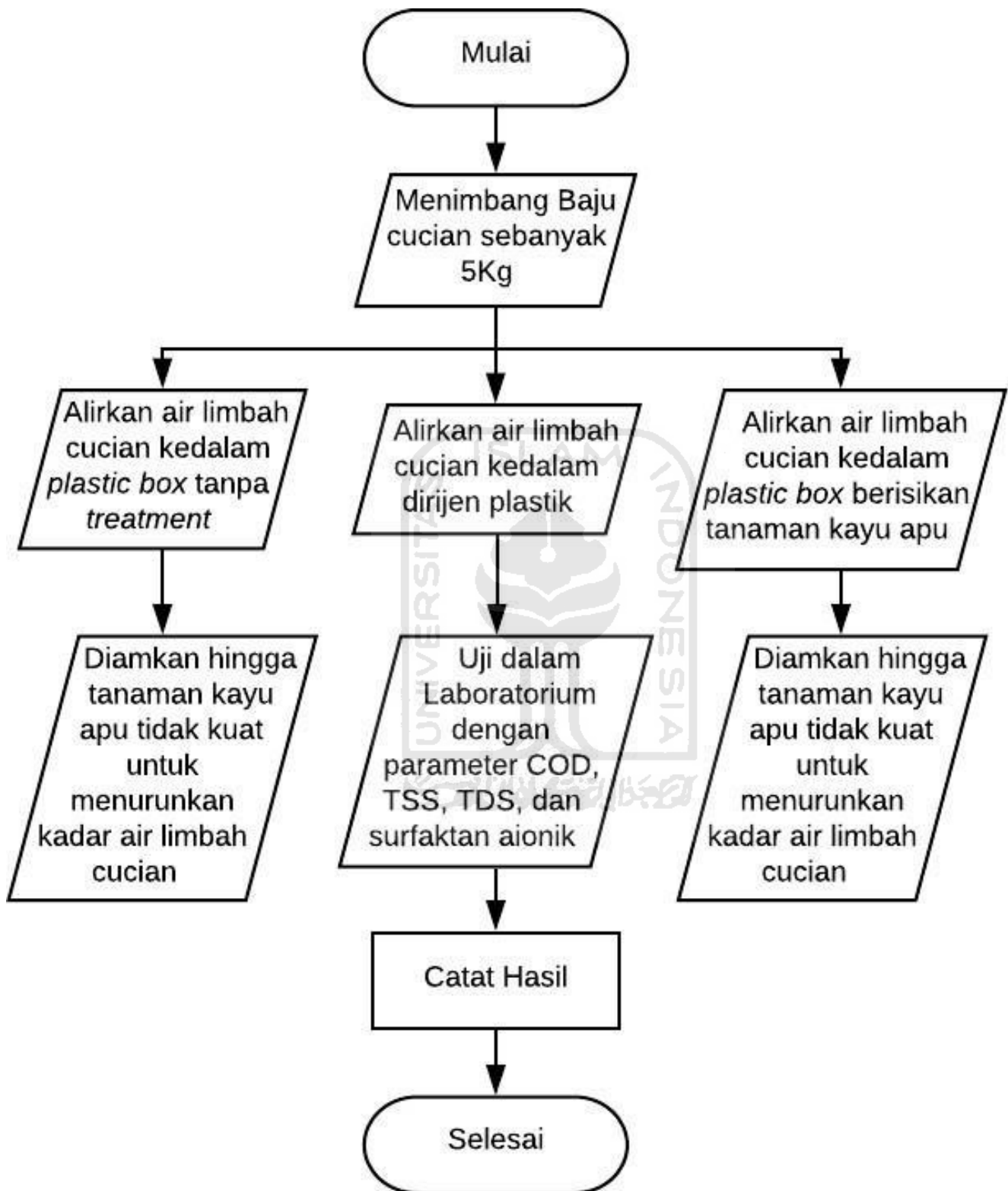
### 3.6 Prosedur Penelitian

Pertama-tama, air limbah *laundry* dimasukkan kedalam reaktor box plastik dan ada juga yang langsung diujikan ke laboratorium sebagai sampel hari ke-1. Selanjutnya, setiap 24 jam dari waktu rendaman dalam reaktor box plastik, air limbah *laundry* diujikan ke laboratorium. Sampel yang di rendam selama 24 jam disebut dengan sampel hari ke-2, yang direndam selama 48 jam disebut sampel hari ke-3 dan yang direndam selama 72 jam disebut sampel hari ke-4. Sedangkan C1 ialah sampel yang hanya diberikan *treatment* fitoremediasi, namun tidak diberikan *treatment* filtrasi. C2 ialah sampel yang diberikan *treatment* fitoremediasi dan filtrasi (mengikuti prosedur reaktor). C3 ialah sampel yang tidak diberikan *treatment* apapun. Dan C4 ialah sampel yang tidak diberikan *treatment* fitoremediasi, namun diberikan *treatment* filtrasi. Prosedur pengambilan sampel hari ke-0 hingga hari ke-3.

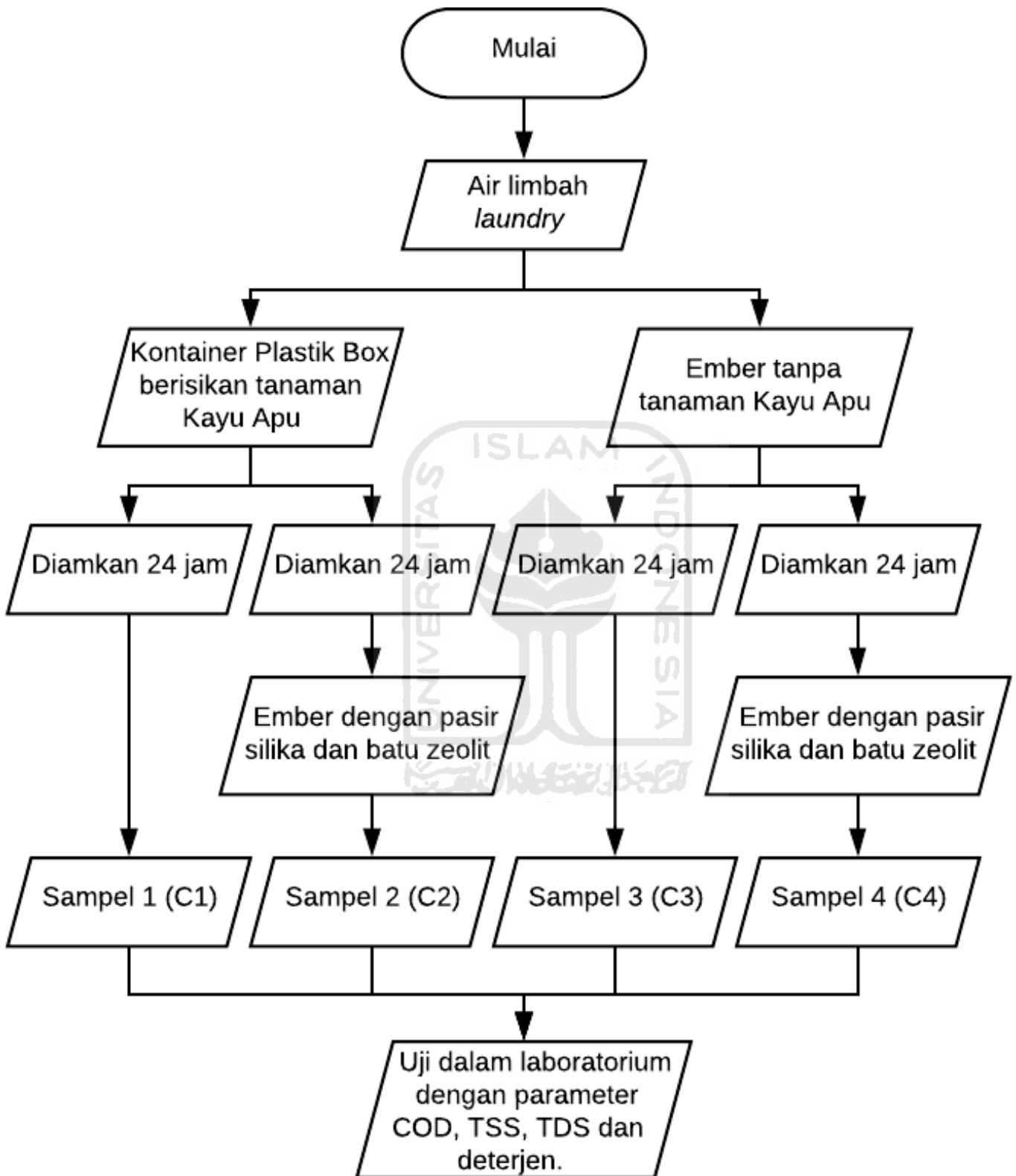




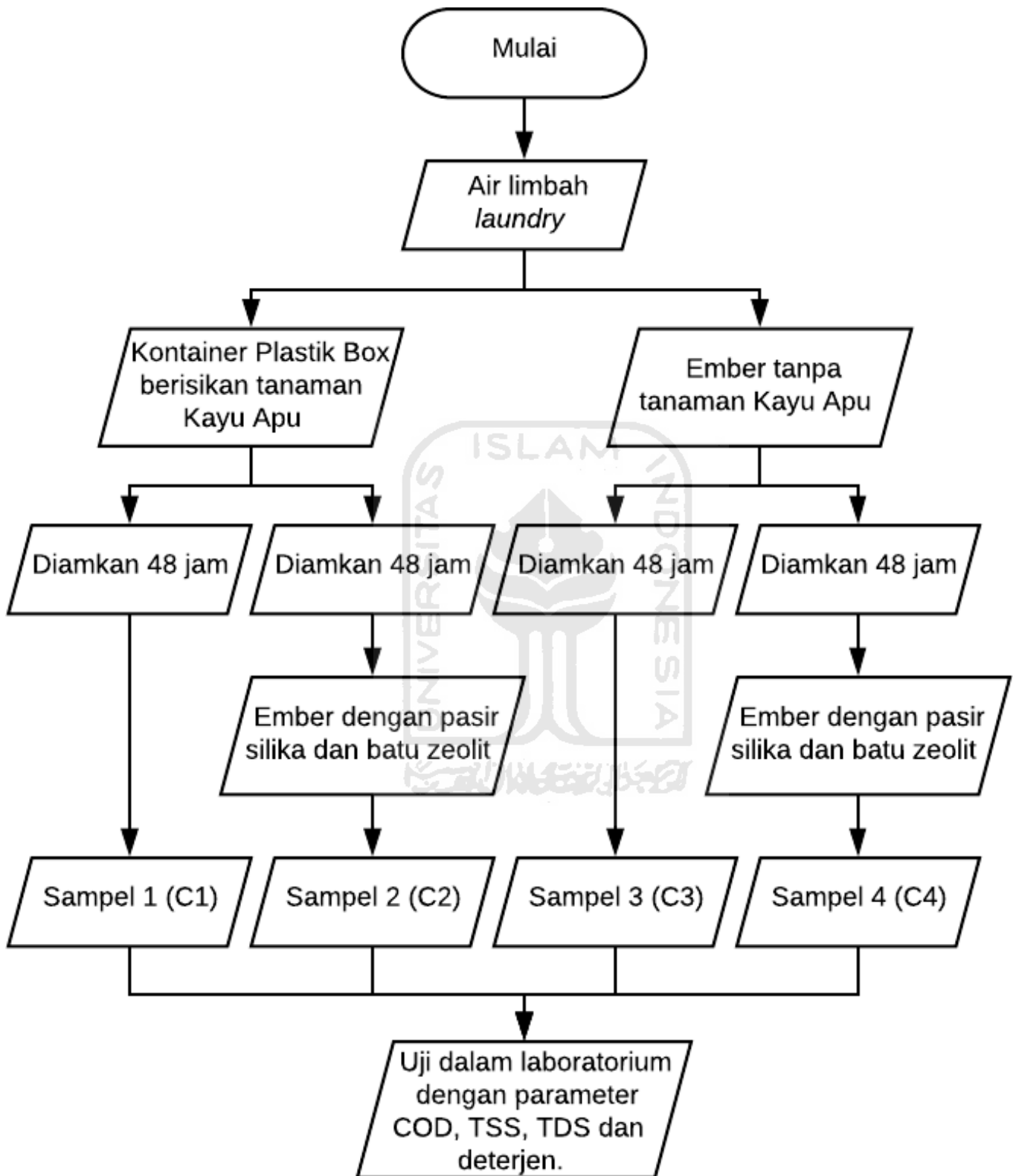
Gambar 3.4 Diagram Alir Prosedur Penelitian Secara Umum



Gambar 3.5 Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-0

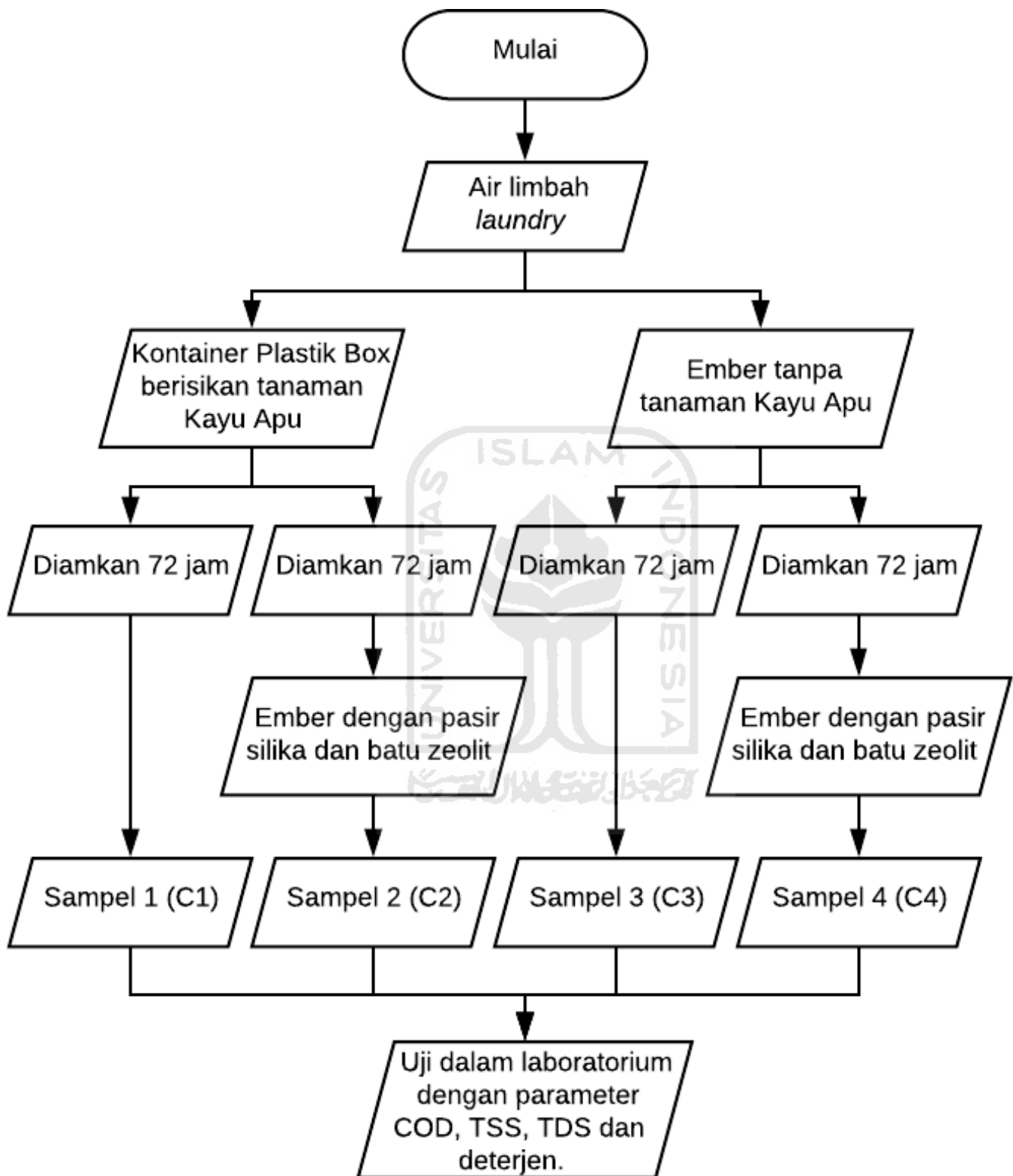


Gambar 3.6 Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-1



Gambar 3.7 Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-2





Gambar 3.8 Diagram Alir Cara Uji sampel hari ke-3

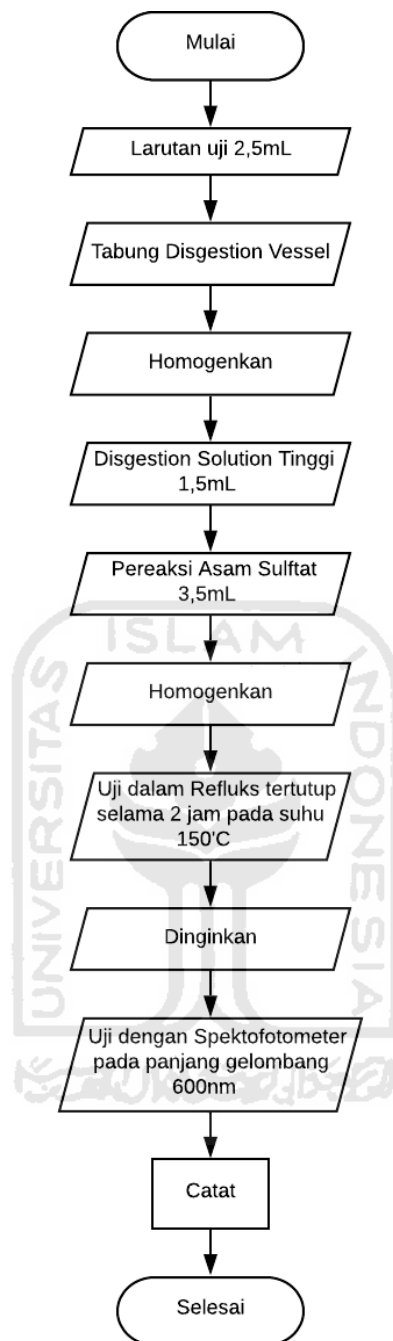
### 3.7 Teknis Uji

Dalam percobaan uji penelitian ini menggunakan beberapa SNI parameter uji tiap parameter sebagai berikut:

#### 3.7.1 COD

Berdasarkan SNI 6989.2:2009 tentang air dan air limbah bagian 2: cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri sebagai berikut:





Gambar 3.9 Cara Pembuatan Kurva Kalibrasi COD



Gambar 3.10 Cara Uji COD

### 3.7.2 TSS

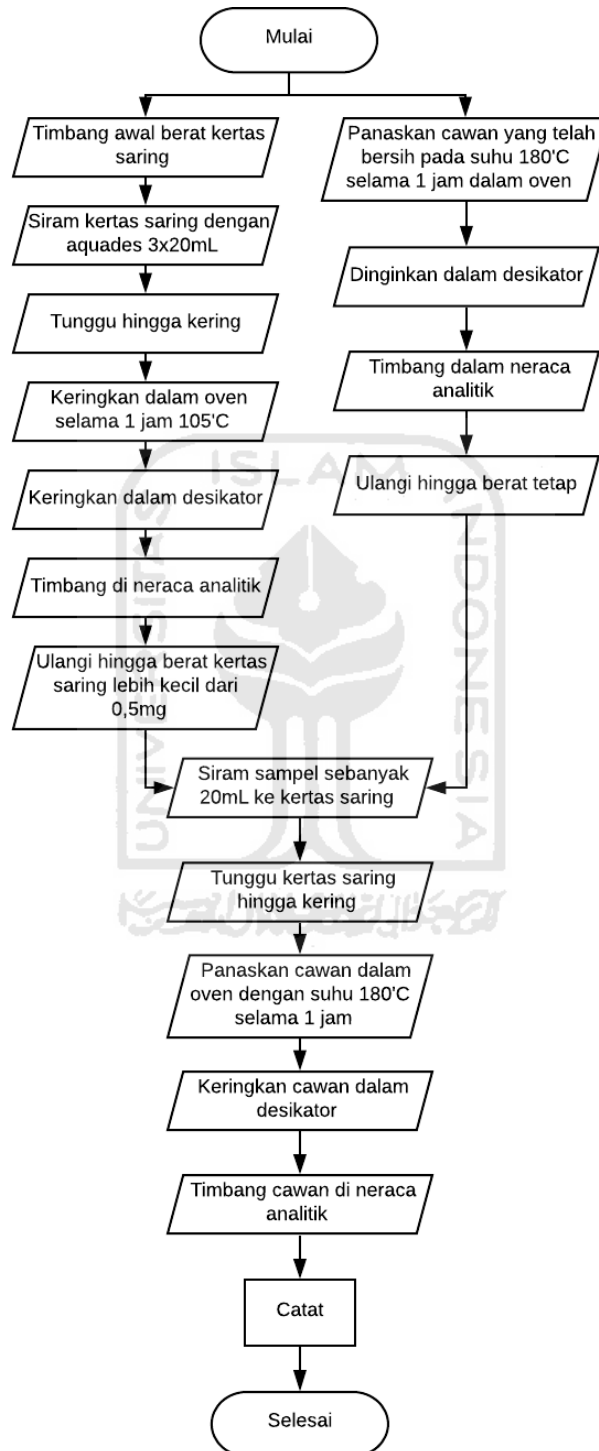
Berdasarkan SNI 6989.2:2009 tentang air dan air limbah bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid*, TSS) secara gravimetri sebagai berikut:



Gambar 3.11 Cara uji TSS

### 3.7.3 TDS

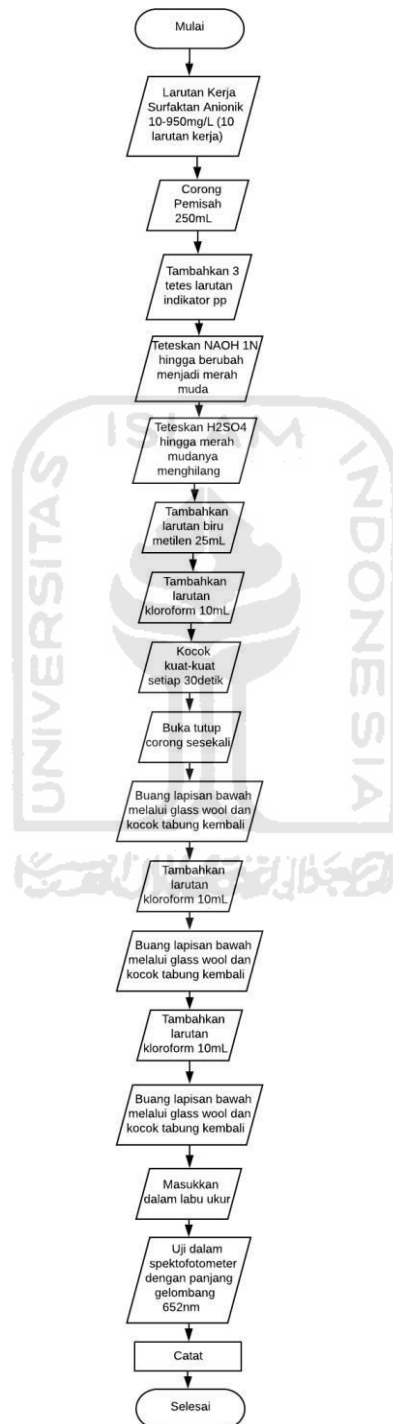
Berdasarkan SNI 6989.2:2009 tentang air dan air limbah bagian 27: Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri sebagai berikut:



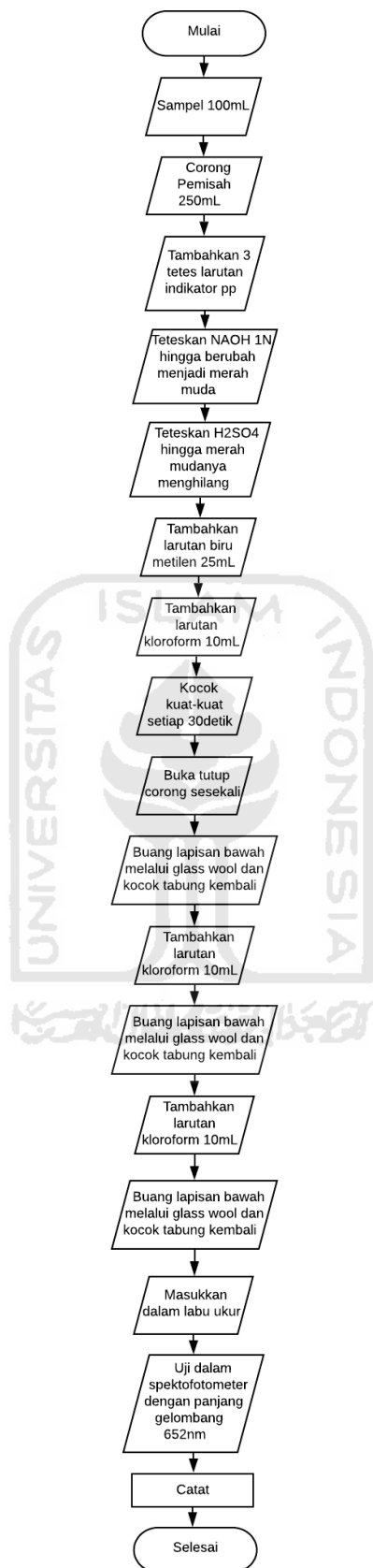
Gambar 3.12 Cara uji TDS

### 3.7.4 Deterjen

Berdasarkan SNI 6989.2:2009 tentang air dan air limbah bagian 51: Cara uji kadar surfaktan anionik dengan spektrofotometer secara biru metilen sebagai berikut:



Gambar 3.13 Cara Pembuatan Kurva Kalibrasi Deterjen



Gambar 3.14 Cara Uji Deterjen



### **3.7 Teknik Sampling**

Teknik yang digunakan untuk melakukan hal teknis terkait mekanisme pengambilan sampel uji berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang metode tata cara mengambil air sampel. Menurut SNI 6989.59:2008, peneliti menggunakan wadah derijen dari bahan plastik sebagai tempat wadah sementara dari sumber penghasil air limbah kemudian dibawa untuk di teliti di Lab Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Metode pengambilan air sampel menggunakan metode *grab sampling*.

### **3.8 Objek Penelitian**

Objek penelitian ini menggunakan air limbah cucian di Sapen dengan berat pakaian  $\pm 5\text{Kg}$ . Untuk sampel penelitian diambil 2L/sampel untuk diuji dalam Lab Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengolahan Air Limbah *Laundry***

Pertama, dilakukannya survey kepada pemilik usaha *laundry* di Jalan Bimasakti dengan metode wawancara secara langsung. Pemilik usaha *laundry* menunjukkan dan menjelaskan tentang pengelohannya, dimana tidak diolah, namun langsung di alirkan ke *septic tank* bersama buangan dari rumah pribadi pemilik usaha *laundry*. Hal ini tentunya dapat menambah kadar beban pencemar dalam badan air karena tidak di olah terlebih dahulu.

#### **4.2 Penentuan Material**

Langkah pertama dalam pengujian ialah optimalisasi dari material-material yang akan dijadikan *treatment* air limbah, tujuannya untuk memastikan bahwa material yang tersedia telah mencapai kondisi optimum. Berdasarkan literatur sebelumnya, didapatkan hasil bahwa untuk fitoremediasi yang paling efektif menggunakan tanaman Kayu Apu karena dapat menurunkan beban kadar air untuk parameter COD sebesar 96%. Sedangkan untuk filtrasi yang paling efektif menggunakan pasir silika dan zeolit dengan tebal media 0,3 mm karena mampu menurunkan beban kadar air limbah 99%. Dari literatur yang telah dibaca, maka dapat dijadikan dasar bahwa bahan yang digunakan dalam reaktor dapat optimal.

#### **4.3 Karakteristik Sampel (C)**

Dalam penelitian ini, terdapat satu sampel yang dijadikan sampel awal. Sampel awal ini dijadikan acuan dan pembanding dengan sampel-sampel lainnya. Berikut adalah hasil uji untuk sampel limbah *laundry*.

### 4.3.1 Karakteristik Sampel Hari ke-0

Sebelum air *laundry* masuk ke dalam reaktor, air *laundry* diuji terlebih dahulu kadar input sebelum air *laundry* dilakukan *treatment*. Pengujian awal dilaksanakan untuk menjadi acuan perbandingan metode. Parameter yang diuji seperti COD, TSS, TDS dan Deterjen. Berikut adalah hasil pengujian sampel hari ke-0 pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Sampel Hari ke-0

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-0
COD (mg/L)	150	374
TSS (mg/L)	100	10.5
TDS (mg/L)	2000	1650
Deterjen (mg/L)	5	225

Dari Tabel 4.1, dapat dilihat bahawasanya air *laundry* melebihi ambang batas hampir semua karakteristik ambang batas dari Peraturan DIY No.7 tahun 2016 kecuali pada parameter TDS, yakni mengandung 1650 mg/L kandungan TDS. Untuk kadar COD, TSS dan Deterjen, didapatkan hasil 374 mg/L kandungan COD, 10,5 mg/L kandungan TSS dan 225 mg/L kandungan Deterjen. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pengolahan limbah *laundry* yang marak di Kota Yogyakarta karena banyaknya pelajar masih belum baik. Faktor yang menyebabkan baku mutu sampel awal mayoritas melebihi dari baku mutu ialah kandungan kimia yang terdapat dalam deterjen, sehingga nilai COD nya tinggi. Kemudian setelah mengetahui karakteristik sampel awal, data tersebut akan menjadi pembanding dari hasil pengolahan beberapa metode dan didapatkan persentase keberhasilan penurunan pada setiap parameter.

#### 4.3.2 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C<sub>1</sub>)

Setelah limbah *laundry* melewati metode fitoremediasi, diujikan hasil keluaran dari metode fitoremediasi sebelum di alirkan secara gravitasi kedalam wadah berisikan filter. Pengujian kedua dilakukan sebagai pembandingan dari sampel pertama. Parameter yang diuji seperti COD, TSS, TDS, dan Deterjen. Berikut hasil pengujian C<sub>1</sub>:

Tabel 4.2 Hasil Uji Sampel Pertama (C<sub>1</sub>)

Parameter	Batas Maksimal (mg/L)	Hari Ke-			
		0	1	2	3
COD (mg/L)	150	374	197,33	107,33	87,33
TSS (mg/L)	100	10,50	12,50	17,50	25
TDS (mg/L)	2000	1650	1760	1750	1720
Deterjen (mg/L)	5	225,14	153,71	89,43	82,29

Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dalam percobaan bila sampel air limbah di diamkan selama 24 jam, maka kandungan COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 197,33 mg/L kadar COD, 12,5 mg/L kadar TSS, 1760 mg/L kadar TDS dan 153,71 mg/L kadar Deterjen. Pada hari berikutnya, setelah di rendam selama 48 jam kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 107,33 mg/L kadar COD, 17,5 mg/L kadar TSS, 1750 mg/L kadar TDS dan 89,43 mg/L kadar Deterjen. Dan di hari ketiga, setelah direndam selama 72 jam, kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 87,33 mg/L kadar COD, 25 mg/L kadar TSS, 1720 mg/L kadar TDS dan 82,29 mg/L kadar Deterjen.

### 4.3.3 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C<sub>2</sub>)

Sampel kedua (C<sub>2</sub>) ialah sampel air yang telah melewati *treatment* fitoremediasi dan filtrasi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui beban kadar air limbah setelah melewati ketiga *treatment* tersebut. Parameter yang diujikan dalam sampel kedua ini masih sama seperti parameter dalam sampel pertama. Namun, pada sampel kedua, *treatment* air limbah nya lebih lengkap bila dibandingkan dengan *treatment* air limbah sampel pertama. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas daya serap tanaman kayu apu, pasir silika, dan zeolit dalam menyerap air limbah yang ada. Berikut hasil pengujian C<sub>1</sub>:

Tabel 4.3 Hasil Uji Sampel Kedua (C<sub>2</sub>)

Parameter	Batas Maksimal (mg/L)	Hari Ke-			
		0	1	2	3
COD (mg/L)	150	374	107,33	60,67	40,67
TSS (mg/L)	100	10,50	20	15,50	14
TDS (mg/L)	2000	1650	1700	1640	1600
Deterjen (mg/L)	5	225,14	118	38	10,86

Pada *treatment* kedua, yakni setelah sampel air limbah di rendam oleh tanaman kayu apu, lalu sampel air limbah di alirkan ke *treatment* filtrasi. Kandungan air setelah melewati *treatment* dari fitoremediasi ditambah filtrasi pada parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 107,33 mg/L kadar COD, 20 mg/L kadar TSS, 1700 mg/L kadar TDS dan 118 mg/L kadar Deterjen. Pada hari berikutnya, setelah di rendam selama 48 jam bersama tanaman kayu apu, kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 60,67 mg/L kadar COD, 15,5 mg/L kadar TSS, 1640 mg/L kadar TDS dan 38 mg/L kadar Deterjen. Pada hari ketiga, setelah direndam selama 72 jam dalam wadah berisi tanaman kayu apu, kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 40,67 mg/L kadar COD, 14 mg/L kadar TSS, 1600 mg/L kadar TDS dan 10,86 mg/L kadar Deterjen.

#### 4.3.4 Karakteristik Sampel Hari ke-1 (C<sub>3</sub>)

Pada sampel air limbah ketiga ialah air limbah yang tanpa di *treatment* apapun. Ketika sampel pertama yang keluar dari mesin cuci langsung di rendam bersama tanaman kayu apu, lain halnya sampel ketiga, sampel ketiga di letakkan dalam satu wadah dan di diamkan tanpa di *treatment* apapun. Berikut ialah kadar air yang di diamkan selama 24, 48 dan 72 jam dengan parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen.

Tabel 4.4 Hasil Uji Sampel Ketiga (C<sub>3</sub>)

Parameter	Batas Maksimal (mg/L)	Hari Ke-			
		0	1	2	3
COD (mg/L)	150	374	230,67	124	74
TSS (mg/L)	100	10,50	4,5	4	2,5
TDS (mg/L)	2000	1650	1710	1670	1660
Deterjen (mg/L)	5	225,14	418	368	154

Sampel ketiga yang tanpa *treatment* metode penelitian pun ternyata mengalami reduksi secara alami, namun tidak ter-reduksi secepat yang diberikan *treatment*. Kandungan sampel ketiga tanpa *treatment* pada parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 230,67 mg/L kadar COD, 4,5 mg/L kadar TSS, 1710 mg/L kadar TDS dan 418 mg/L kadar Deterjen. Pada hari berikutnya, setelah di rendam selama 48 jam, sampel air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 124 mg/L kadar COD, 4 mg/L kadar TSS, 1670 mg/L kadar TDS dan 368 mg/L kadar Deterjen. Dan di hari ketiga, setelah direndam selama 72 jam, kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 74 mg/L kadar COD, 2,5 mg/L kadar TSS, 1660 mg/L kadar TDS dan 154 mg/L kadar Deterjen.

#### 4.3.5 Karakteristik Sampel Hari Ke-1 (C<sub>4</sub>)

Sampel keempat air limbah ini merupakan air limbah yang direndam selama 24, 48 dan 72 jam tanpa *treatment*, selanjutnya di *treatment* dengan filtrasi. Berikut ialah konsentrasi air dengan penilaian parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen:

Tabel 4.5 Hasil Uji Sampel Keempat (C<sub>4</sub>)

Parameter	Batas Maksimal (mg/L)	Hari Ke-			
		0	1	2	3
COD (mg/L)	150	374	130,67	74	67,33
TSS (mg/L)	100	10.5	7	5	3
TDS (mg/L)	2000	1650	1660	1640	1620
Deterjen (mg/L)	5	225.14	318	225,14	139,43

Pada sampel keempat, dapat dilihat bahwa *treatment* filtrasi dapat menurunkan kadar COD, TSS, TDS, dan Deterjen, namun tidak se-signifikan daripada *treatment* fitoremediasi dan filtrasi. Berikut adalah kadar air sampel keempat untuk parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 130,67 mg/L kadar COD, 7 mg/L kadar TSS, 1660 mg/L kadar TDS dan 318 mg/L kadar Deterjen. Pada hari berikutnya, setelah di rendam selama 48 jam, lalu di alirkan ke zeolit dan pasir silika, sampel air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 74 mg/L kadar COD, 5 mg/L kadar TSS, 1640 mg/L kadar TDS dan 225,14 mg/L kadar Deterjen. Pada hari ketiga, setelah direndam selama 72 jam lalu di *treatment* filtrasi, kadar air limbah dalam parameter COD, TSS, TDS dan Deterjen sebesar 67,33 mg/L kadar COD, 3 mg/L kadar TSS, 1620 mg/L kadar TDS dan 139,43 mg/L kadar Deterjen.



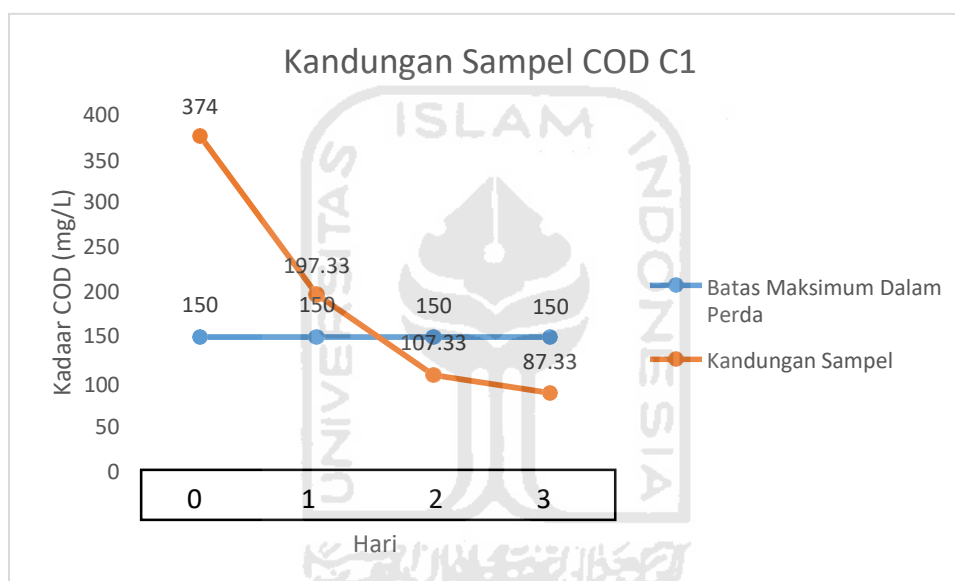
#### 4.4 Analisis Persentase *Removal* Pada *Treatment* Fitoremediasi

Pada penelitian ini, dilakukan analisis dari setiap metode. Fitoremediasi merupakan tahap pertama dalam reaktor ini. Berikut adalah hasil analisis persentase *removal* dari tahap fitoremediasi:

##### 4.4.1 COD

##### 4.4.1.1 Dengan Fitoremediasi

Pada Sampel C<sub>1</sub>, dimana sampel langsung di rendam bersama tanaman kayu apu untuk menurunkan kadar COD yang terdapat dalam sampel air limbah. Berikut data penurunan COD pada C<sub>1</sub> dengan *treatment* fitoremediasi dan persentase *removal* nya pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.6:



Gambar 4.1 Grafik Penurunan COD C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

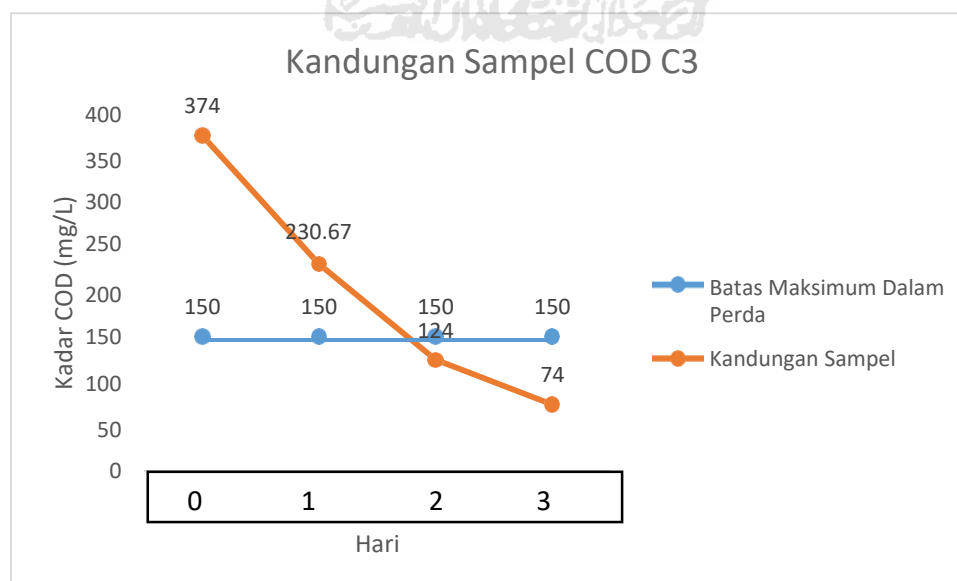
Tabel 4.6 Persentase *Removal* COD C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	197.33	47%	107.33	71%	87.33	77%

Berdasarkan pada Tabel 4.6 didapatkan hasil persentase *removal* COD menggunakan metode Fitoremediasi meningkat seiring pertambahan hari yaitu di hari ke-1 sebesar 47%, hari ke-2 berkisar 71%, dan hari-3 sebesar 77%. Tetapi besarnya persentase penurunan kadar COD semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu tinggal. Pada penelitian Herlambang dan Hendriyanto (2015) juga mengalami hal serupa yang menyatakan bahwa persentase *removal* kayu apu berpengaruh pada lama rendaman tanaman bersama air limbahnya. Hal yang mempengaruhi kadar COD seperti waktu kontak tanaman dengan air limbah. Tanaman menyerap polutan yang berada dalam air limbah untuk melakukan fotosintesis dan menghasilkan oksigen untuk mengurai zat organik pada air limbah (Supratada, 2005). Pada bagian akar terjadi proses rizodegradasi, dimana mikroorganisme mengurai bahan kimia menjadi nutrisi. Akar tumbuhan berperan penting untuk menyerap konsentrasi air limbah (Rahadian Rahan, Sutrisno Endro, 2017).

#### 4.4.1.2 Tanpa Fitoremediasi

Terdapat juga sampel air limbah yang tidak mendapat *treatment* fitoremediasi dengan tanaman kayu apu, hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi alami dari sampel air limbah bila tidak di *treatment* apapun. Dari sampel ketiga ini, didapatkan hasil persentase *removal* sampel air limbah tanpa *treatment* dan grafik penurunannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.7:



Gambar 4.2 Grafik Penurunan COD C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Tabel 4.7 Persentase *Removal* COD C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

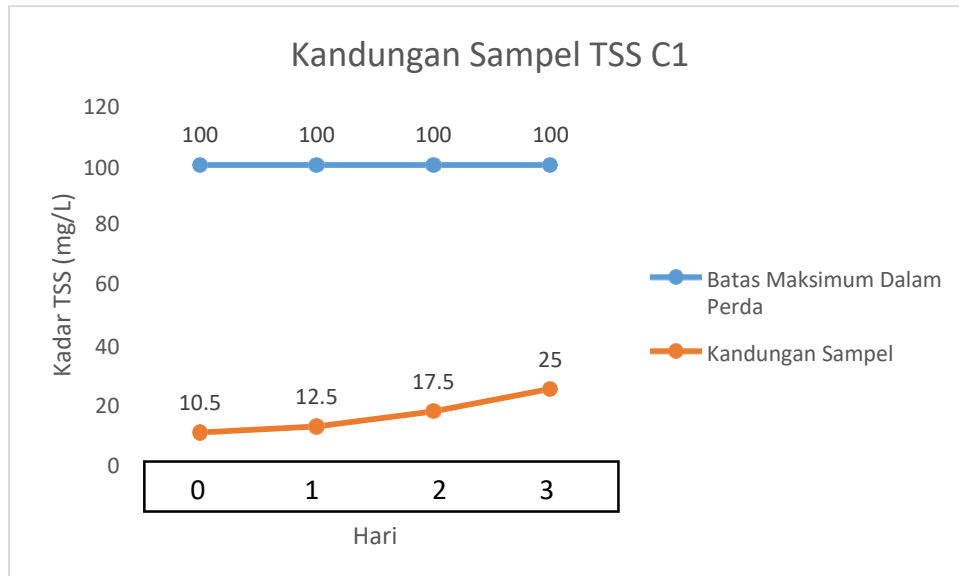
Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	230.67	38%	124	67%	74	80%

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.7 bahwa sampel air limbah tanpa di *treatment* pun dapat menurunkan kadar COD secara alamiah. Dalam 24 jam di diamkan, sampel ketiga turun konsentrasinya sebesar 38%, dalam 48 jam turun sebesar 67%, dan di hari ketiga turun hingga 80%. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Stefhany dkk (2013) bahwa pada kelompok kontrol yang tidak diberikan tanaman air, nilai persentase *removal* COD sebesar 19,65%. Penyisihan COD terjadi karena terdapat mikroorganisme alamiah yang hidup pada air limbah *laundry* yang akan mengurai zat organik. CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan juga biomasa serta energy untuk proses metabolisme didapatkan dari hasil terurainya zat organik (Kusuma, 2019). Enzim protease yang dihasilkan dari metabolisme mikroorganisme digunakan untuk memecah senyawa organik menjadi lebih sederhana dan menurunkan konsentrasi COD dalam air limbah (Ikhlas, 2014).

#### 4.4.2 TSS

##### 4.4.2.1 Dengan Fitoremediasi

Pada Sampel C<sub>1</sub>, dimana sampel langsung di rendam bersama tanaman kayu apu untuk menurunkan kadar TSS yang terdapat dalam sampel air limbah. Berikut data penurunan TSS pada C<sub>1</sub> dengan *treatment* hanya fitoremediasi dan persentase *removal* nya dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.8:



Gambar 4.3 Grafik Penurunan TSS C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

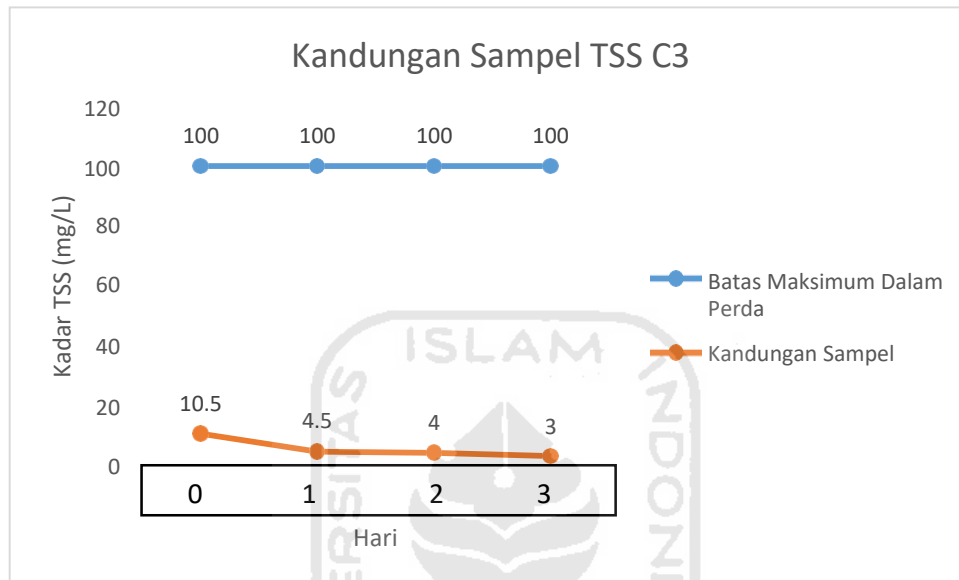
Tabel 4.8 Persentase *Removal* TSS C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TSS (mg/L)	100	10.50	12.50	-19%	17.50	-67%	25	-138%

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa kadar nilai TSS pada sampel air yang hanya di *treatment* dengan fitoremedia menggunakan tanaman kayu apu mengalami peningkatan sebanyak 19%, pada 48 jam kadar TSS bertambah hingga 67%, dan setelah 72 jam mengalami kenaikan hingga 138%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Padmaningrum dkk (2014) didapatkan hasil kadar TSS yang tidak teratur karena mengalami penurunan dan kemudian peningkatan kadar TSS. Peningkatan kadar TSS ini dapat dipengaruhi oleh membusuknya akar tanaman hingga serangga yang masuk kedalam air limbah karena bau busuknya yang menyengat. Kenaikan kadar TSS ini disebabkan karena runtuhnya akar dan daun-daun tanaman kayu apu karena ketidak mampuan mereduksi limbah *laundry* secara sempurna, dan pembusukan yang akar dan daun kayu apuh tersuspensi ke dalam limbah cair yang kemudian menyebabkan kadar TSS meningkat (Raissa & Tangahu, 2017).

#### 4.4.2.2 Tanpa Fitoremediasi

Terdapat juga sampel air limbah yang tidak mendapat *treatment* fitoremediasi dengan tanaman kayu apu, hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi alami dari sampel air limbah bila tidak di *treatment* apapun. Dari sampel ketiga ini, didapatkan hasil persentase *removal* sampel air limbah tanpa *treatment* dan grafik penurunannya dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.9:



Gambar 4.4 Grafik Penurunan TSS C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Tabel 4.9 Persentase *Removal* TSS C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

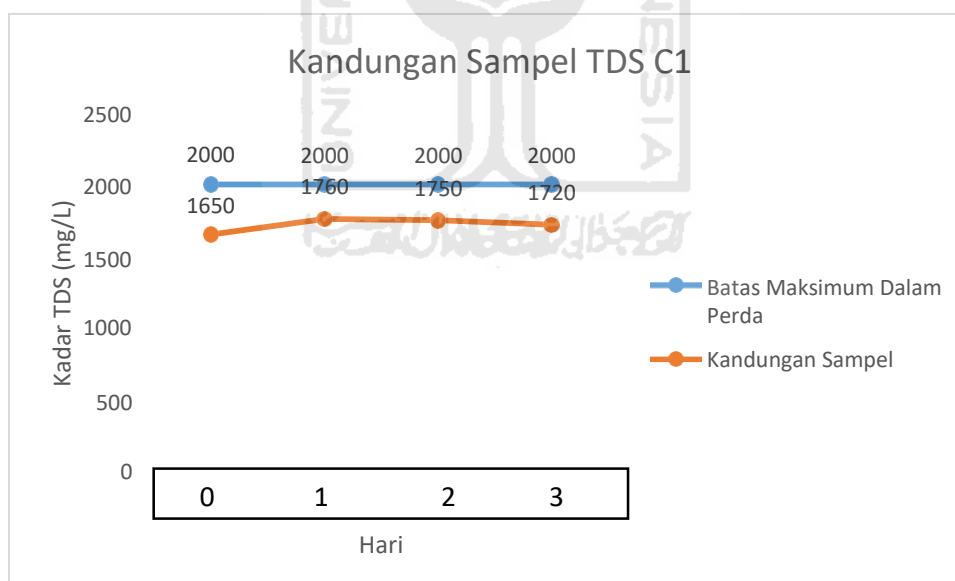
Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TSS (mg/L)	100	10.50	4.50	57%	4	62%	3	76%

Dapat dilihat dari Gambar 4.4 dan Tabel 4.9 bahwa sampel yang tidak di *treatment* dengan tanaman kayu apu, mengalami penurunan konsentrasi secara alamiah dan dipatakan nilai persentase *removal* pada hari pertama sebesar 57%, hari kedua 62%, dan hari ketiga sebesar 76%. Pada penelitian sebelumnya, Imron, dkk (2019) yaitu terdapat penurunan nilai kadar TSS pada kelompok kontrol atau kelompok tanpa perlakuan. Bila dibandingkan dengan sampel pertama ( $C_1$ ), yang mengalami peningkatan konsentrasi TSS, hal sebaliknya terjadi bila di *treatment* secara alamiah. Hal ini diakibatkan karena tidak ada endapan didasar karena tidak ada partikel yang terpisah secara besar, serta adanya gaya gravitasi pada saat pengendapan (Ruhmawati, 2017).

#### 4.4.3 TDS

##### 4.4.3.1 Dengan Fitoremediasi

Pada Sampel  $C_1$ , dimana sampel langsung di rendam bersama tanaman kayu apu untuk menurunkan kadar TDS yang terdapat dalam sampel air limbah. Berikut data penurunan TDS pada  $C_1$  dengan *treatment* hanya fitoremediasi dan persentase *removal* nya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.10:



Gambar 4.5 Grafik Penurunan TDS  $C_1$  Dengan *Treatment* Fitoremediasi

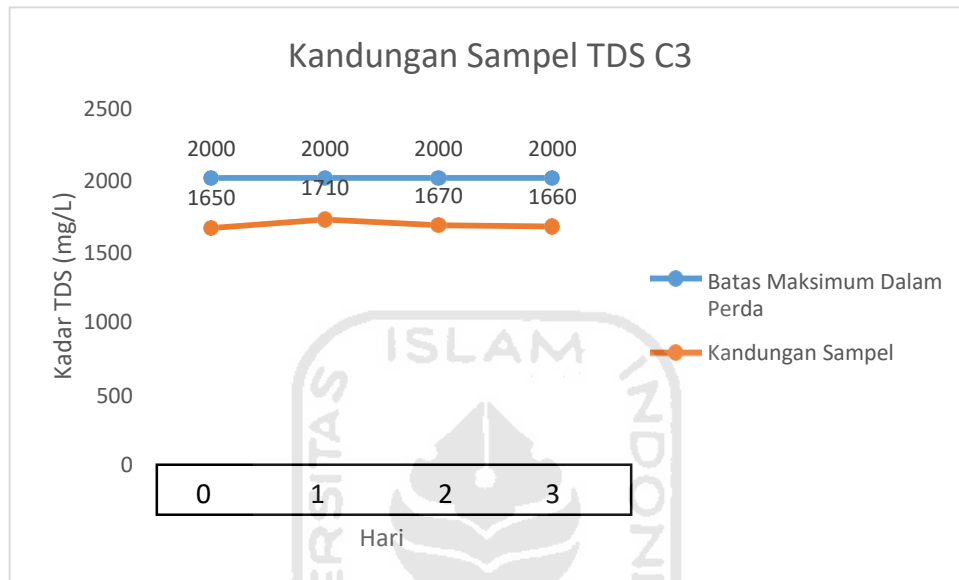
Tabel 4.10 Persentase *Removal* TDS C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TDS (mg/L)	2000	1650	1700	-3%	1640	1%	1700	3%

Dapat dilihat dari Gambar 4.5 dan Tabel 4.10 bahwa sampel yang di *treatment* dengan tanaman kayu apu, mengalami penurunan dan kenaikan terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan ketika air hari ke nol di uji, air tidak ada terserap dengan tanaman kayu apu. Beda hal nya dengan hasil pengujian di hari pertama, dimana tanaman kayu apu sudah terendam sampel air selama 24 jam dan kandungan air sampel menjadi naik 7%, tetapi setelah di rendam 48 jam dengan tanaman kayu apu, kadar sampel air naiknya hanya 6%, dan di hari ketiga mengalami kenaikan 4%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sari dkk (2017) didapatkan hasil kadar TDS pada minggu ketika mengalami peningkatan sebesar 25% dan pada minggu ke 5 sebesar 76%. Hal ini diduga karena berkurangnya jumlah senyawa anorganik seperti timbal (Pb), Kadmium (Cd), kromium (Cr). mengalami penurunan kadar TDS sebesar Hal ini dikarenakan partikel yang bercampur dengan air semakin lama mampu menurunkan kadar air secara perlahan. Proses penurunan TDS juga memanfaatkan aktivitas mikroorganisme pada tumbuhan, adanya mikroorganisme yang melakukan penguraian padatan organik dan anorganik seperti surfaktan, zal builder, zat filter dan zat additive sehingga dapat mereduksi padatan terlarut. Peningkatan kadar TDS dapat disebabkan oleh adanya kenaikan bahan organik akibat banyaknya bagian tumbuhan yang mati seiring bertambahnya lama waktu kontak (Kustiyaningsih, 2020).

#### 4.4.3.2 Tanpa Fitoremediasi

Terdapat juga sampel air limbah yang tidak mendapat *treatment* fitoremediasi dengan tanaman kayu apu, hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi alami dari sampel air limbah bila tidak di *treatment* apapun. Dari sampel ketiga ini, didapatkan hasil persentase *removal* sampel air limbah tanpa *treatment* dan grafik penurunannya dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.11:



Gambar 4.6 Grafik Penurunan TDS C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Tabel 4.11 Persentase *Removal* TDS C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TDS (mg/L)	2000	1650	1710	-4%	1670	-1%	1660	-0,6%



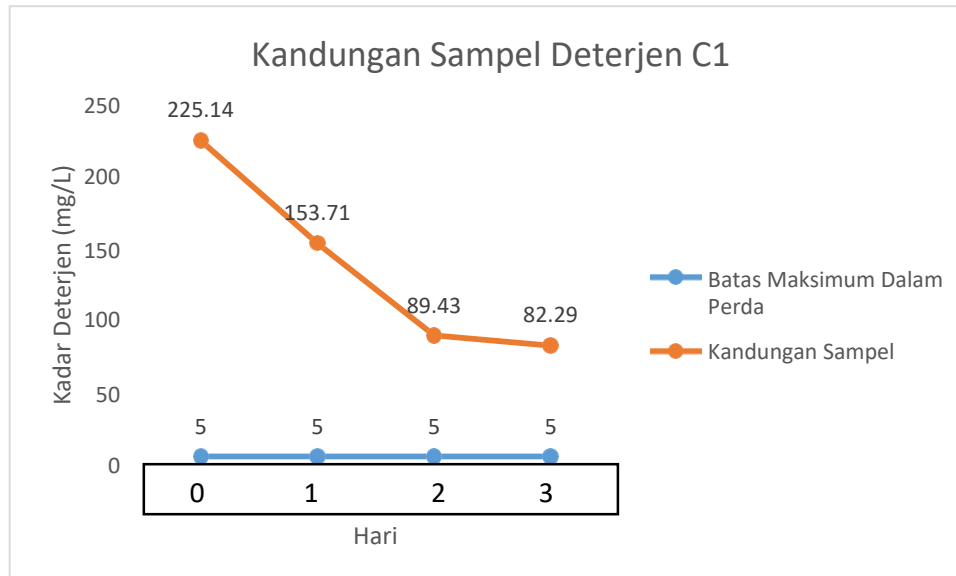
Setelah air sampel didiamkan tanpa *treatment* fitoremediasi, sampel air diberikan *treatment* filtrasi. Dari hasil rendaman 24 jam lalu diberikan *treatment* filtrasi, kadar sampel air sebelum di *treatment* filtrasi memiliki kadar 1760 mg/L menjadi 1710 mg/L, sedangkan dalam rendaman 48jam, dari kadar 1750 mg/L menjadi 1670 mg/L, dan dari 1720 mg/L menjadi 1660 mg/L. Hal serupa didapatkan pada penilitan yang dilakukan oleh Kustiyaningsih (2020) bahwa nilai TDS yang didapatkan fluktuatif setiap harinya pada kelompok kontrol. Hal ini dapat terjadi akibat adanya mikroorganisme alami dalam air limbah *laundry* dan melakukan penguraian zat organik maupun zat anorganik meskipun tidak sebanyak pada kelompok dengan perlakuan fitoremediasi. Penurunan kadar TDS juga dapat disebabkan penurunan kadar klorin pada kelompok kontrol, karena klorin bereaksi dengan sisa organik yang berasal dari limbah sehingga berubah menjadi senyawa halogen organik yang mudah menguap sehingga kadar klorin berkurang dan menyebabkan penurunan nilai TDS pada kelompok kontrol (Safitri, 2019).

#### **4.4.4 Deterjen**

Pada parameter deterjen yang di uji ialah surfaktan anionik. Berikut hasil analisis pada parameter surfaktan anionik:

##### **4.4.4.1 Dengan Fitoremediasi**

Pada Sampel C<sub>1</sub>, dimana sampel langsung di rendam bersama tanaman kayu apu untuk menurunkan kadar Deterjen yang terdapat dalam sampel air limbah. Berikut data penurunan Deterjen pada C<sub>1</sub> dengan *treatment* hanya fitoremediasi dan persentase *removal* nya dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.12.



Gambar 4.7 Grafik Penurunan Deterjen C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

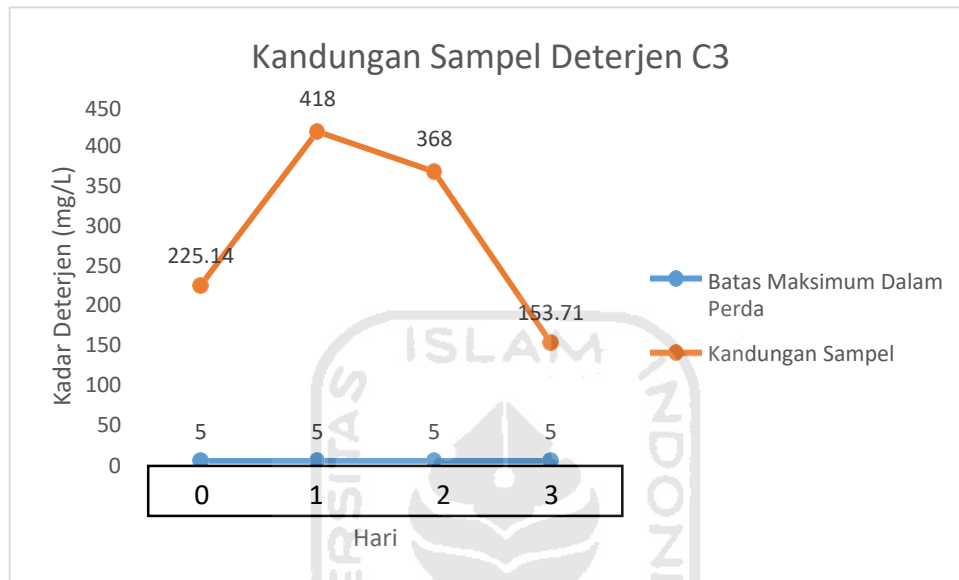
Tabel 4.12 Persentase *Removal* Deterjen C<sub>1</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
Deterjen (mg/L)	5	225,14	153,71	32%	89,43	60%	82,29	63%

Setelah di rendam dalam tanaman kayu apu selama 24-72 jam, lalu sampel di uji dalam laboratorium Kualitas Lingkungan TL FTSP UII. Didapatkan data bahwa kadar sampel air setelah keluar dari mesin cuci ialah 225,14 mg/L, setelah di *treatment* dengan fitoremediasi, kadar di hari 1 turun sebesar 32%. Pada hari kedua turun sebanyak 60% dan dihari ketiga turun hingga 63%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar ai limbah *laundry* dapat diserap selama 3 hari dan menunjukkan peningkatan serapan dari tanaman kayu apu tersebut walaupun masih diatas batas ambang menurut Perda DIY no 7 tahun 2016.

#### 4.4.4.2 Tanpa Fitoremediasi

Pada Sampel C<sub>3</sub>, sampel tidak di *treatment* apapun untuk mengetahui kemampuan mendegradasi kandungan sampel air secara alami. Dari sampel ketiga ini, didapatkan hasil persentase *removal* sampel air limbah tanpa *treatment* dan grafik penurunannya pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.13:



Gambar 4.8 Grafik Penurunan Deterjen C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Tabel 4.13 Persentase *Removal* Deterjen C<sub>3</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
Deterjen (mg/L)	5	225,14	418	-86%	368	-63%	153,71	32%

Dalam data menunjukkan bahwa limbah *laundry* yang mengandung deterjen juga dapat menurunkan kadar nya secara alami. Didapatkan hasil dengan didiamkan 1-3 hari, kadar meningkat sebesar -86% lalu di hari berikutnya masi meningkat 63% dan di hari ketiga menurun sebanyak 32%. Hal ini dikarenakan ketika hari ke nol, sampel belum benar-benar menyatu kadar deterjen nya, dihari pertama kadar sampel sudah mulai menyatu sehingga kadar naik hngga 418 mg/L, lalu didiamkan dan turun secara alami. Salah satu penyebabnya dari udara terbuka yang menguapkan kadar secara alami sehingga terjadi penurunan kadar deterjen dalam wadah sampel.

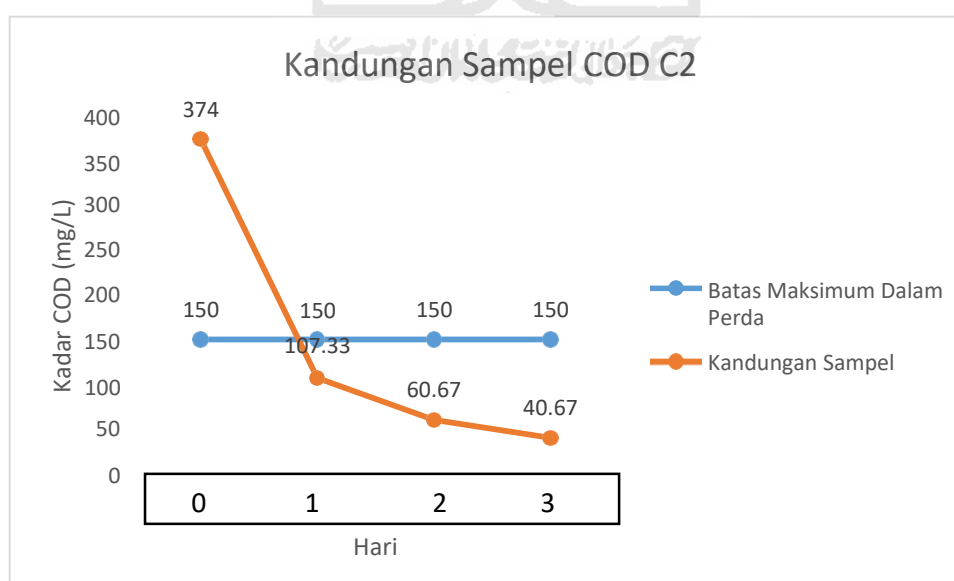
#### 4.5 Analisis Persentase *Removal* Pada *Treatment* Filtrasi

Pada penelitian ini, dilakukan analisis dari setiap metode. Filtrasi merupakan tahap kedua dalam reaktor ini. Berikut adalah hasil analisis persentase *removal* dari tahap filtrasi:

##### 4.5.1 COD

##### 4.5.1.1 Dengan Fitoremediasi

Setelah sampel air dari *treatment* fitoremediasi, sampel air di *treatment* dengan filtrasi secara bersamaan. Berikut adalah data penurunan kadar COD pada  $C_1$  dengan *treatment* fitoremediasi, filtrasi beserta persentase *removal*nya pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.14:



Gambar 4.9 Grafik Penurunan COD  $C_2$  Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

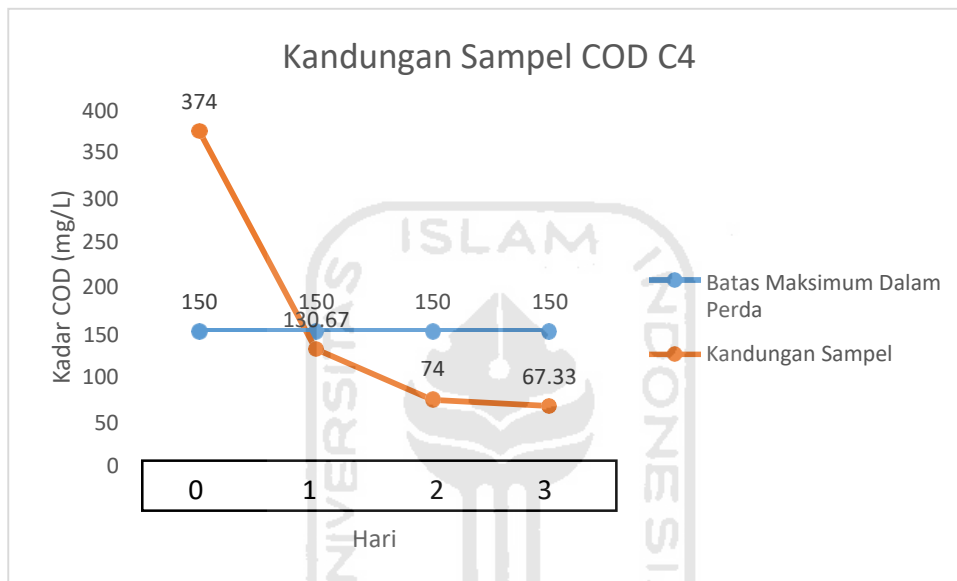
Tabel 4.14 Persentase *Removal* COD C<sub>2</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	107.33	71%	60.67	84%	40.67	89%

Setelah direndam dengan tanaman kayu apu, sampel air limbah selanjutnya diberikan *treatment* filtrasi dengan pasir silika dan batu zeolit. Hasil yang diperoleh pun beda-beda. Setelah di *treatment* fitoremediasi dengan kayu apu selama 24 jam yang menghasilkan kadar sampel menjadi 197,33 mg/L kemudian sampel diberikan *treatment* filtrasi. Data yang didapat dari ketiga *treatment* tersebut ialah sampel air turun kadarnya dari 197,33 mg/L menjadi 107,33 mg/L. Hal ini dikarenakan karena pengaruh filtrasi yang dapat menurunkan kadar COD sebesar 46%. Pada hari kedua, didapatkan *treatment* ini dapat menurunkan kadar hingga 43%. Dan pada hari ketiga setelah *treatment* fitoremediasi, kadar sampel air menurun hingga 53%. Hal serupa terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Santoso dkk (2014) bahwa terdapat penurunan signifikan konsentrasi COD pada air limbah. Penurunan konsentrasi COD disebabkan karena adanya aktivitas fotosintesis yang mendukung aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi zat – zat berbahaya pada air limbah (Afifah dkk, 2016), serta pada proses filtrasi dapat menurunkan kadar COD karena terjadi proses difusi dan menempelnya molekul zat terlarut yang teradsorpsi pada media (Ronny, 2018).

#### 4.5.1.2 Tanpa Fitoremediasi

Terdapat juga sampel air limbah yang tidak mendapat *treatment* fitoremediasi dengan tanaman kayu apu, namun tetap diberikan *treatment* fitoremediasi dan filtrasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi alami dari sampel air limbah bila tidak di *treatment* fitoremediasi, namun di *treatment* fitoremediasi. Dari sampel keempat ini, didapatkan hasil persentase *removal* sampel air limbah tanpa *treatment* dan grafik penurunannya pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.15:



Gambar 4.10 Grafik Penurunan COD C<sub>4</sub> Dengan *Treatment* Filtrasi

Tabel 4.15 Persentase *Removal* COD C<sub>4</sub> Dengan *Treatment* Filtrasi

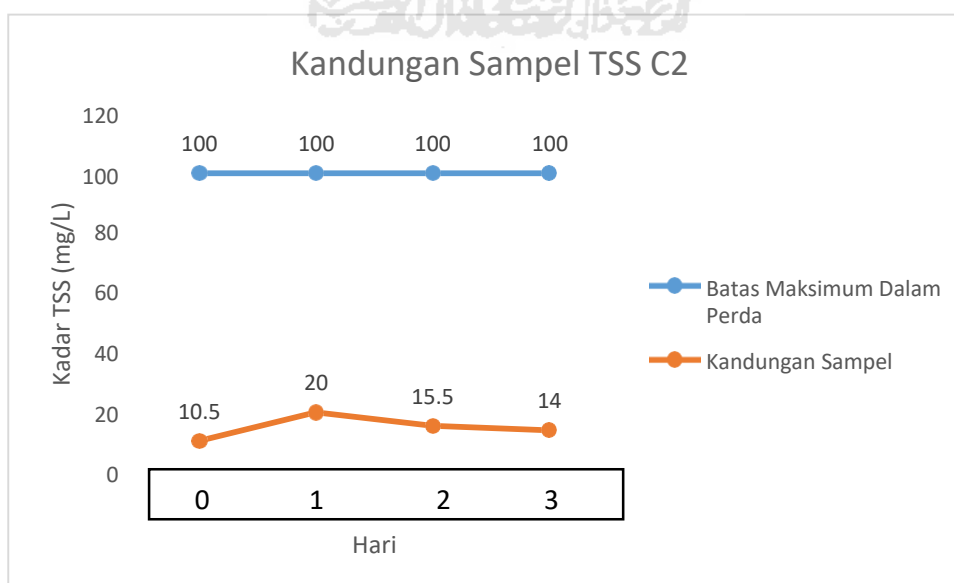
Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	130.67	65%	74	80%	67.33	82%

Sampel keempat ini tidak di *treatment* dengan fitoremediasi, namun diberikan *treatment* filtrasi. Dari hasil pengujian di laboratorium, kandungan sampel C<sub>4</sub> di hari pertama mampu menurunkan 65% kandungan daripada yang hanya didiamkan selama 24 jam. Di hari kedua, turun menjadi 80% dan dihari ketiga mampu turun menjadi 82%. Pada penelitian sebelumnya oleh (Pungus, 2019) menyatakan bahwa terdapat penurunan signifikan rerata konsentrasi COD pada sampel kontrol dengan sampel perlakuan menggunakan filtrasi. Persentase penurunan konsentrasi COD akan lebih besar jika dilakukan optimalisasi waktu kontak dan ketebalan media, karena waktu kontak dan ketebalan media berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar polutan dalam air (Pungus, 2019). Dari data diatas menunjukkan bahwa kemampuan mereduksi dari filtrasi pada reaktor ini lebih besar daripada di diamkan tanpa diberikan *treatment* apapun.

## 4.5.2 TSS

### 4.5.2.1 Dengan Fitoremediasi

Pada Sampel C<sub>2</sub>, dimana sampel langsung di rendam bersama tanaman kayu apu untuk menurunkan kadar TSS yang terdapat dalam sampel air limbah. Setelah itu sampel air diberikan *treatment* filtrasi guna mencari reduksi kadar air secara optimum seperti pada reaktor nantinya. Berikut data penurunan TSS pada C<sub>2</sub> dengan *treatment* hanya fitoremediasi dan persentase *removal* nya pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.16.



Gambar 4.11 Grafik Penurunan COD C<sub>2</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

Tabel 4.16 Persentase *Removal* TSS C<sub>2</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

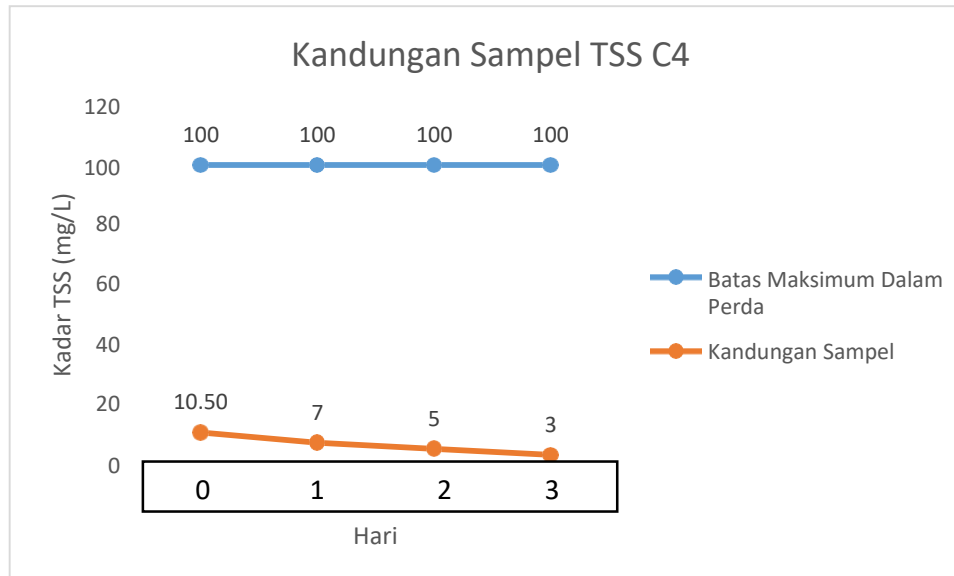
Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TSS (mg/L)	100	10.50	20	-90%	15.50	-48%	14	-33%

Selain parameter COD, parameter TSS juga masuk kedalam parameter untuk menentukan air limbah di DIY layak dibuang ke lingkungan atau tidak. Dari reaktor yang dibuat, kadar TSS ketika di *treatment* filtrasi setelah sebelumnya di *treatment* fitoremediasi selama 24 jam mengalami kenaikan dari 12,5 mg/L menjadi 20 mg/L. Ketika setelah di fitoremediasi 48 jam dan diberi *treatment* filtrasi mengalami penurunan hingga 48%. Dan di hari ketiga mengalami penurunan hingga 33%. Penelitian sebelumnya oleh Ilmannafian dkk, (2020) bahwa terdapat penurunan kadar TSS dan juga peningkatan kadar TSS. Penurunan kadar tss dapat disebabkan oleh tersumbatnya media filter baik oleh padatan terlarut ataupun materi organik, serta terbatasnya pertumbuhan media tanam pada agen fitoremediasi dan tanaman telah melewati masa pertumbuhan optimal yang menyebabkan kemampuan filtrasi padatan terlarut juga mengalami penurunan. Faktor – faktor lain yang dapat memengaruhi penurunan kadar TSS pada air limbah yaitu konsentrasi air limbah, jumlah masing-masing media penyaring, dan tingkat kejenuhan media penyaring.

#### 4.5.2.2 Tanpa Fitoremediasi

Sampel C<sub>4</sub> merupakan sampel yang tidak diberikan *treatment* fitoremediasi namun diberikan *treatment* filtrasi. Hal ini bertujuan mengukur efektifitas daripada kapasitas mereduksi sampel air dari batu zeolit dan pasir silika. Berikut merupakan data penurunan kadar sampel beserta persentase *removal* nya pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.17:





Gambar 4.12 Grafik Penurunan TSS C<sub>4</sub> Dengan *Treatment* Filtrasi

Tabel 4.17 Persentase *Removal* TSS C<sub>4</sub> Dengan *Treatment* Filtrasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TSS (mg/L)	100	10.50	7	33%	5	52%	3	71%

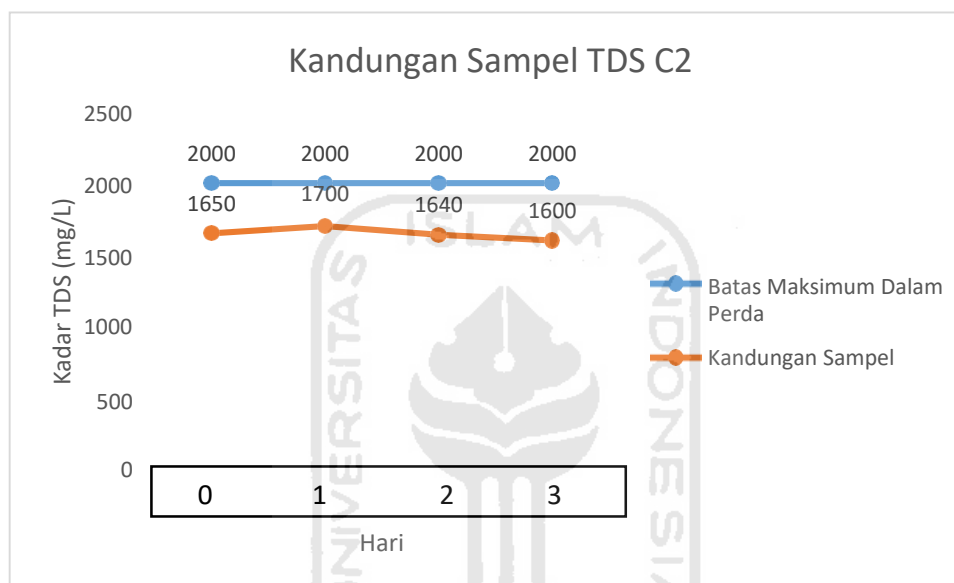
Dalam pengujian parameter TSS didapatkan hasil bahwa secara keseluruhan, kadar air dari parameter TSS mengalami penurunan. Terlihat dari hari pertama sampai ketiga bahwasanya kadar TSS menurun dari hari ke nol, yakni 10,5 mg/L. Tetapi kadar TSS mengalami peningkatan dari sampel C<sub>3</sub> di hari pertama yakni 4,5 mg/L menjadi 7 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh Rohman (2016) didapatkan hasil penurunan kadar TSS dengan metode filtrasi, tetapi juga terjadi peningkatan kadar TSS seiring berjalannya waktu karena terjadinya fouling dalam membran akibat adanya adsorpsi polutan yang akan menyebabkan penurunan fluks membran. Polutan menjadi banyak karena lamanya kontak dalam pori membran yang mengecil dan menyebabkan polutan akan lebih sulit untuk melewati pori membran. Penyebab dari kenaikan ini dikarenakan sisa dari filtrasi masuk kedalam dirijen wadah dan mengakibatkan kenaikan nilai TSS. Namun naiknya nilai TSS

tidak terlalu menjadi suatu masalah dikarenakan bila di badan air secara alami, timbunan TSS di dasar badan air dapat tergerus arus sungai atau badan air.

### 4.5.3 TDS

#### 4.5.3.1 Dengan Fitoremediasi

Sampel C<sub>2</sub> merupakan sampel yang mengikuti *treatment* secara keseluruhan, mulai dari fitoremediasi hingga filtrasi. Dari data yang didapat, nilai TDS semakin hari semakin berkurang. Berikut data penurunan dan persentase *removal* kadar TDS pada C<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.18:



Gambar 4.13 Grafik Penurunan COD C<sub>2</sub> Dengan Treatment Fitoremediasi, dan Filtrasi

Tabel 4.18 Persentase *Removal* TDS C<sub>2</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

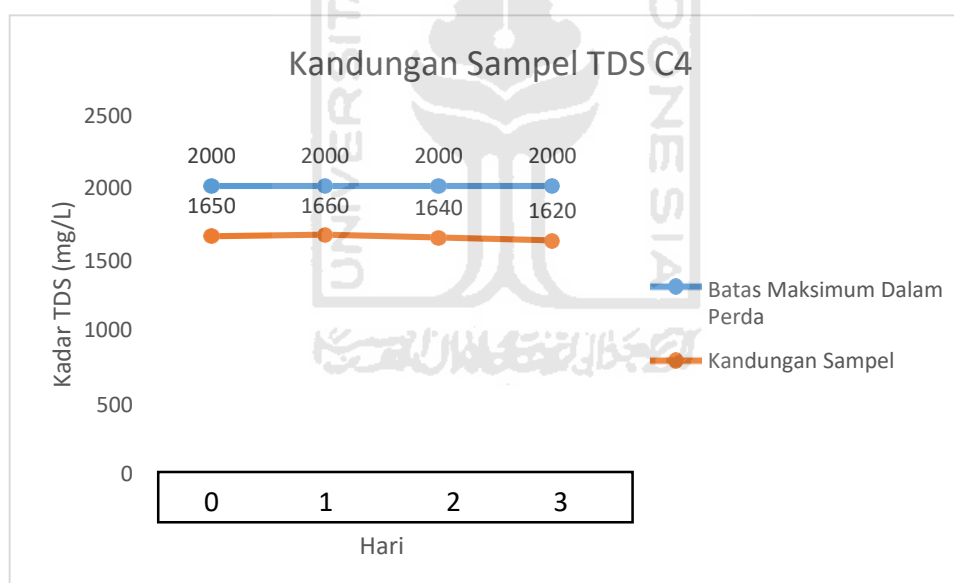
Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TDS (mg/L)	2000	1650	1700	-3%	1640	1%	1600	3%

Didapatkan hasil bahwa semakin lama proses fitoremediasi dan filtrasi, semakin menurun kadar dari sampel C<sub>2</sub>. Walaupun dari hari ke nol kadar air dalam batas ambang baik, tetapi pengaruh dari tambahan *treatment* filtrasi dapat lebih cepat menurunkan kadar. Di hari pertama, mampu menurunkan lebih 3% daripada

tidak menggunakan metode filtrasi. Sedangkan pada hari kedua, kemampuan mereduksi kadar TDS meningkat 6%. Dan di hari ketiga mengalami peningkatan kembali sebesar 7%. Data tersebut didapat karena kadar partikel yang bercampur dengan sampel air harus tereduksi dalam proses filtrasi. Hasil yang sama di dapatkan pada penelitian Hokoyoku (2018) bahwa kombinasi metode fitoremediasi dan filtrasi lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi TDS daripada kombinasi yang lain. Salah satu faktor pendukung terjadinya hal ini yaitu proses penyerapan pada akar tanaman yang berserabut mengakumulasi lumpur hingga partikel yang larut dalam air.

#### 4.5.3.2 Tanpa Fitoremediasi

Pada sampel C<sub>4</sub>, setelah sampel air didiamkan tanpa *treatment*, sampel air diberikan *treatment* filtrasi. Hal ini ditujukan untuk mengetahui kapasitas dari batu filtrasi pasir silika dan batu zeolit. Berikut merupakan data penurunan konsentrasi beserta persentase *removal* nya pada Gambar 4.14 dan Tabel 4.19:



Gambar 4.14 Grafik Penurunan TDS C<sub>4</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

Tabel 4.19 Persentase *Removal* COD C<sub>4</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
TDS (mg/L)	2000	1650	1660	-1%	1640	1%	1620	2%

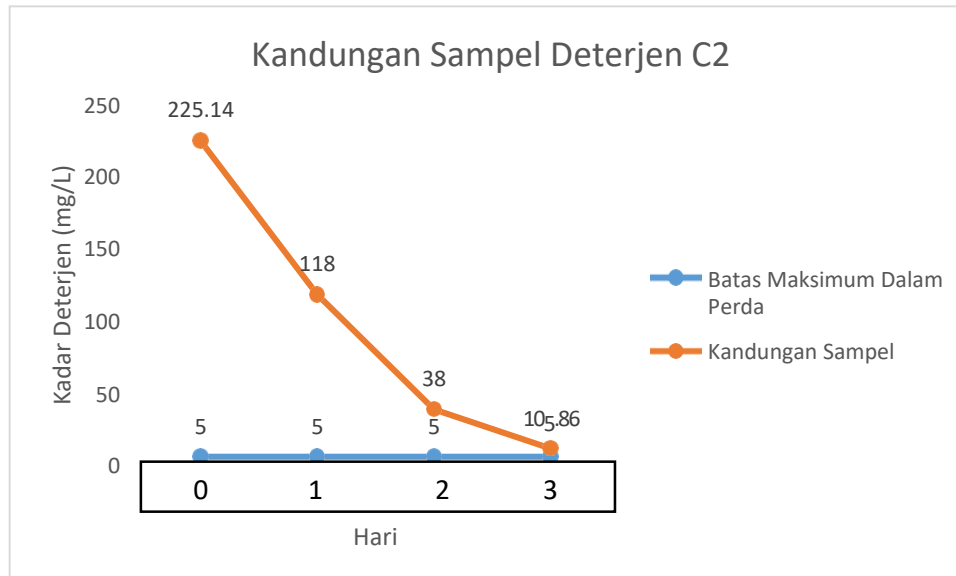
Setelah diujikan, ternyata kadar TDS C<sub>4</sub> di hari pertama mengalami peningkatan kadar TDS. Hal ini dikarenakan partikel-partikel dalam 0 jam belum menyatu sepenuhnya, sedangkan dalam 24 jam partikel dan air sudah mulai menyatu konsentrasinya. Namun di 48 jam pengujian, kadar TDS turun hingga 1640 mg/L, dan di hari ketiga turun hingga 1620 mg/L. Kadar konsentrasi terus menurun dikarenakan partikel yang menyatu dalam air tergerus dengan filtrasi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Apriyani & Novrianti (2020) didapatkan hasil kadar TDS menurun pada penyaringan yang menggunakan zeolit pada penyaringan pertama dan terus menurun pada penyaringan kedua. Hal tersebut terjadi karena permukaan zeolit yang menyerap polutan dengan baik pada permukaannya. Selain karena memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi, zeolite juga berfungsi untuk menyerap kation sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan khususnya pada logam (Sumarli, 2016).

#### 4.5.4 Deterjen

Pada parameter deterjen yang di uji ialah surfaktan anionik. Berikut hasil analisis pada parameter surfaktan anionik:

##### 4.5.4.1 Dengan Fitoremediasi

Pada sampel C<sub>2</sub>, kadar sampel di rendam terlebih dahulu selama 24, 48 dan 72 jam. Setelah itu baru sampel air mengenai *treatment* filtrasi. Hal ini ditujukan untuk mengetahui kapasitas optimum dari reaktor dan menyesuaikan dengan Perda DIY No.7 tahun 2016. Berikut adalah data penurunan dan persentase *removal* dari sampel C<sub>4</sub> pada Gambar 4.15 dan Tabel 4.20:



Gambar 4.15 Grafik Penurunan Deterjen C<sub>2</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

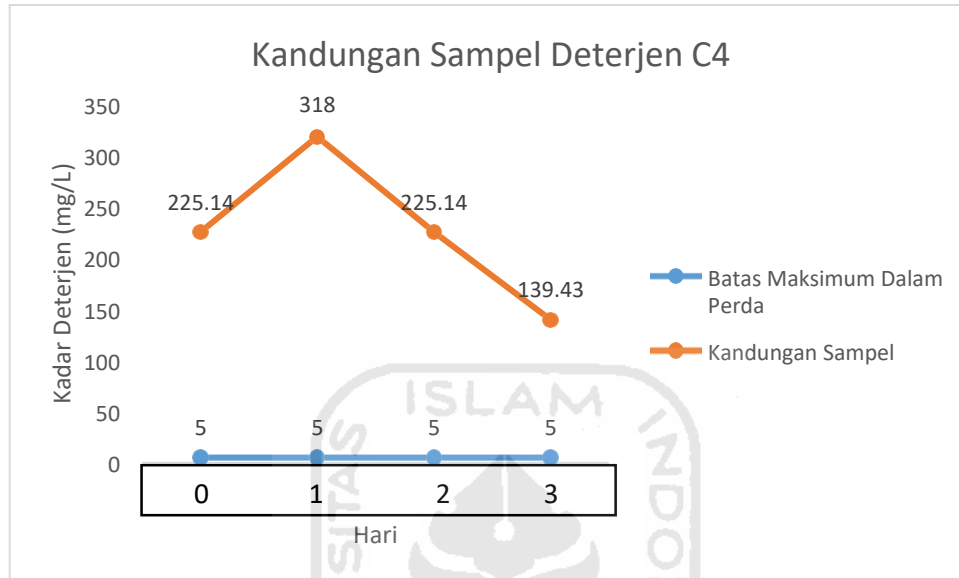
Tabel 4.20 Persentase *Removal* Deterjen C<sub>2</sub> Dengan *Treatment* Fitoremediasi dan Filtrasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2	3		
Deterjen (mg/L)	5	225.14	118	48%	38	83%	10,86	95%

Sampel C<sub>2</sub> ini menunjukkan bahwa reaktor yang berisikan 3 metode, fitoremediasi dan filtrasi dapat menurunkan kadar Deterjen hingga 10,86 mg/L pada hari ketiga. Pada hari ke nol, kandungan deterjen masih 225,14 mg/L. Dihari pertama turun hingga 48%, dihari kedua turun hingga 83%, dan dihari ketiga turun hingga 95%. Walaupun belum memenuhi kriteria dari Perda DIY No.7 tahun 2016, namun ketiga metode ini terbilang cukup efektif mengingat hanya 3 hari dapat menurunkan kadar Deterjen hingga 10,86 mg/L serta parameter lainnya yang sudah dibawah ambang batas.

#### 4.5.3.2 Tanpa Fitoremediasi

Sampel C<sub>4</sub> yang dibiarkan tanpa diberikan *treatment* apapun selama 1-3 hari, lalu setiap 24 jam diberikan *treatment* filtrasi dengan pasir silika dan zeolit. Berikut adalah persentase *removal* dan grafik penurunannya pada Gambar 4.16 dan Tabel 4.21:



Gambar 4.16 Grafik Penurunan Deterjen C<sub>4</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Tabel 4.21 Persentase *Removal* Deterjen C<sub>4</sub> Tanpa *Treatment* Fitoremediasi

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
Deterjen (mg/L)	5	225	318	-41%	225	0%	139.43	38%

Didapatkan hasil bahwa jika sampel hanya diberikan *treatment* filtrasi, tidak dapat menurunkan kadar Deterjen secara seluruhnya. Hasil uji di laboratorium selama hari ke nol hingga ketiga. Dihari pertama, konsentrasi deterjen malah naik hingga 318 mg/L, namun turun 24% bila ditambahkan *treatment* filtrasi. Pada hari kedua turun menjadi 225mg/L, dan dihari ketiga turun hingga 139,43 mg/L.

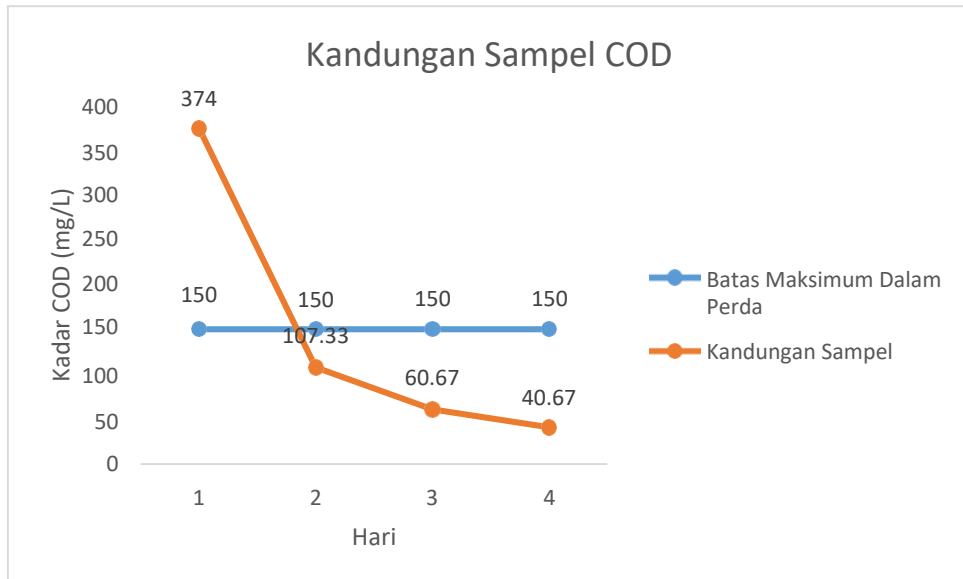
#### 4.6 Analisis Kinerja Keseluruhan *Treatment*

Dari beberapa metode yang telah dicoba, metode reaktor yang menggunakan fitoremediasi dan filtrasi merupakan cara yang paling efektif dalam menurunkan kadar air limbah *laundry*. Berikut ialah data persentase keberhasilan penurunan kadar limbah *laundry*.

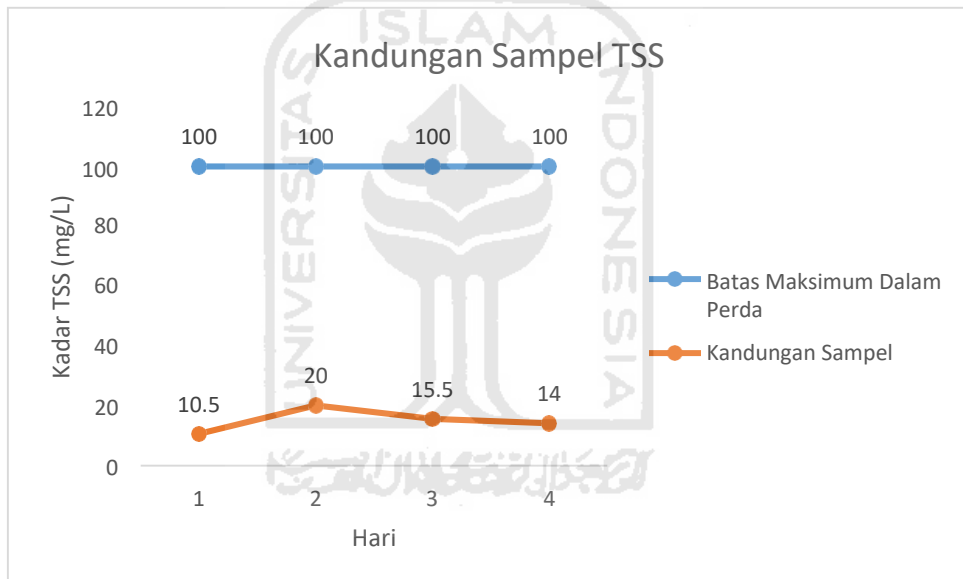
Tabel 4.22 Persentase Keberhasilan Penurunan Kadar Keseluruhan

Metode	Parameter							
	COD (mg/L)	% Removal	TSS (mg/L)	% Removal	TDS (mg/L)	% Removal	Deterjen (mg/L)	% Removal
Sampel Awal	374	-	10.5	-	1650	-	225	-
Fitoremediasi tanpa Filtrasi (C1)	87.33	77%	25	-138%	1720	-4%	82.29	63%
Fitoremediasi dan Filtrasi (C2)	40.67	89%	14	-33%	1600	3%	10.86	95%
Tanpa <i>Treatment</i> (C3)	74	80%	3	71%	1660	-1%	153.71	32%
Filtasi tanpa fitoremediasi (C4)	67.33	82%	3	71%	1620	2%	139.43	38%

Pada Tabel 4.22 warna biru muda merupakan *persentase* tertinggi dalam pengolahan limbah *laundry*. Sampel C<sub>2</sub> merupakan metode yang digunakan dalam reaktor. Berikut juga merupakan grafik dan Tabel terkait penurunan kadar limbah hasil dari reaktor.

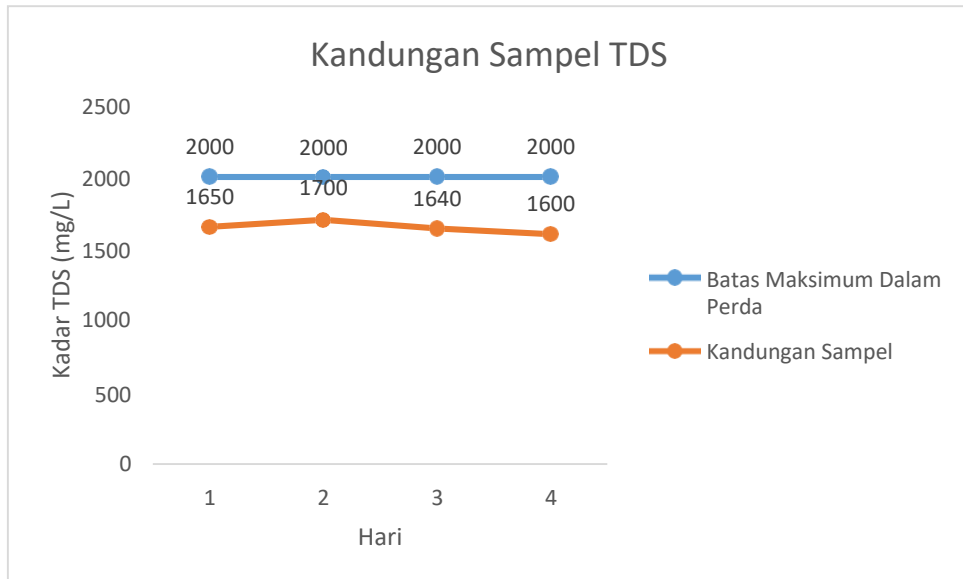


Gambar 4.17 Grafik persentase *Removal* COD

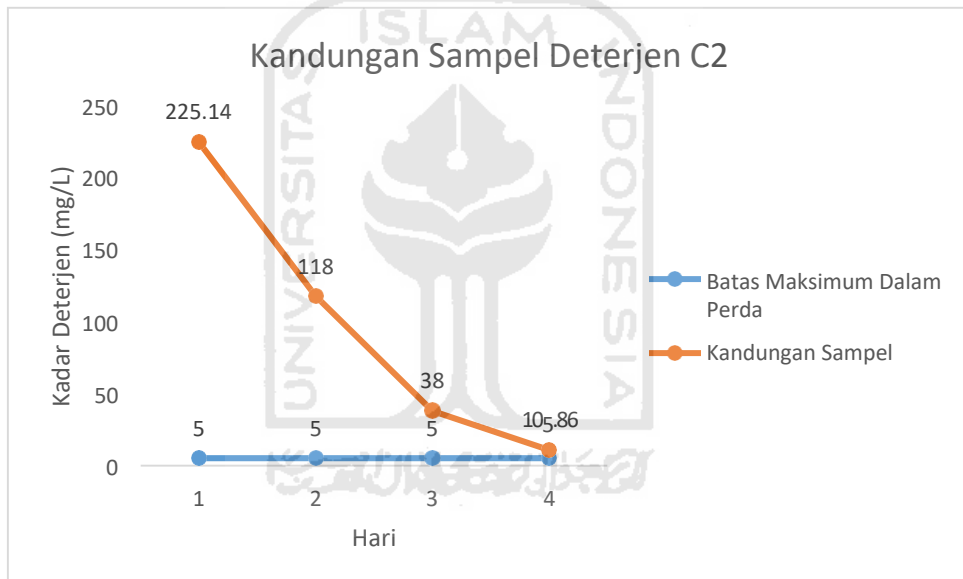


Gambar 4.18 Grafik persentase *Removal* TSS





Gambar 4.19 Grafik persentase *Removal* TDS



Gambar 4.20 Grafik persentase *Removal* Deterjen

Tabel 4.23 Hasil Reaktor Limbah *Laundry*

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>	Hari Ke-	Persentase <i>Removal</i>
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	107.33	71%	60.67	84%	40.67	89%
TSS (mg/L)	100	10.50	20	-90%	15.50	-48%	14	-33%
TDS (mg/L)	2000	1650	1700	-3%	1640	1%	1600	3%
Deterjen (mg/L)	5	225.14	118	48%	38	83%	10.86	95%

Dalam 3 hari, kadar limbah *laundry* meliputi parameter COD, TSS, TDS, dan Deterjen semuanya masuk kedalam batas ambang maksimum yang ditentukan dalam Perda DIY No.7 tahun 2016 kecuali parameter Deterjen. Pada hari ke empat, tanaman sudah layu dan banyak komponen tanaman yang berguguran ke dasar kontainer box. Berikut merupakan persentase *removal* dan Gambar dari keadaan tanaman kayu apu dari hari ke nol, hingga ke empat:

Tabel 4.24 Kondisi Tanaman selama 0-4 hari

Gambar	Lama Rendaman	Penjelasan
	0 Jam	<p>Dalam hari ke nol, busa masi berkumpul diatas dan banyak. Tanaman masih segar dan kuat, air limbah <i>laundry</i> pun masih belum tereduksi dengan tanaman kayu apu.</p>
	24 Jam	<p>Pada hari pertama (24 jam), busa di permukaan mulai menghilang karena menguap dan juga mulai tereduksi oleh tanaman kayu apu. Tanaman yang semula tampak segar, di hari kedua tanaman mulai tidak sesegar sebelumnya.</p>
	48 Jam	<p>Pada hari kedua (48 jam), kondisi tanaman kayu apu sudah ada akar yang menggenang karena ketidakmampuan lagi untuk mereduksi air limbah. Tetapi hanya sedikit yang menggenang di permukaan.</p>
	72 Jam	<p>Pada hari ketiga (72 jam), kondisi tanaman sudah mulai renggang. Hal ini dikarenakan beberapa tanaman sudah tidak mampu mereduksi air limbah lagi. Mayoritas yang tidak kuat ialah tanaman kayu apu yang masih kecil</p>
	96 Jam	<p>Pada hari keempat (96 jam), kondisi tanaman sudah mulai banyak yang terbalik keadaannya. Akar sudah mulai jatuh dan hanya sedikit sekali yang mampu bertahan.</p>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini memiliki 3 kesimpulan, yakni:

1. Kombinasi dari fitoremediasi mampu menurunkan kadar konsentrasi COD dari 374 mg/L menjadi 87,33 mg/L dengan persentase keberhasilan sebesar 77%. Kadar konsentrasi TSS dari 10,5 mg/L menjadi 25 mg/L, mengalami kenaikan sebesar 138%. Parameter TDS meningkat dari 1650 mg/L menjadi 1700 mg/L, mengalami penurunan sebesar 3%. Pada parameter deterjen, dari kadar konsentrasi 225,14 mg/L menjadi 82,29 mg/L, persentase *removal* nya sebesar 63%. Masih diatas ambang batas Perda DIY Nomor 7 tahun 2016.
2. Kombinasi dari fitoremediasi dan filtrasi mampu menurunkan kadar konsentrasi COD dari 374 mg/L menjadi 40,67 mg/L dengan persentase keberhasilan sebesar 89%. Kadar konsentrasi TSS dari 10,5 mg/L menjadi 14 mg/L, mengalami kenaikan sebesar 30%. Parameter TDS menurun dari 1650 mg/L menjadi 1600 mg/L, mengalami penurunan sebesar 3%. Pada parameter deterjen, dari kadar konsentrasi 225,14 mg/L menjadi 10,86 mg/L, walaupun persentase *removal* nya hingga 95% namun masih diatas ambang batas Perda DIY Nomor 7 tahun 2016.
3. Kekurangan dari reaktor ialah pada penurunan kadar deterjen. Walaupun sudah tidak terpaut jauh antara hasil penelitian hari ketiga dengan batas ambang Perda DIY nomor 7 tahun 2016, tetapi masih tetap diatas kadar yang ditentukan. Kecepatan air juga lambat ketika proses filtrasi dikarenakan pasir silika dan batu zeolit yang rapat sehingga air bergerak lambat secara gravitasi.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan pengujian dan memahami kekurangan serta kelebihan alat reaktor diatas, terdapat beberapa saran agar reaktor dapat diterapkan pada usaha industry *laundry* di Yogyakarta, sebagai berikut:

1. Perlu adanya suatu wadah yang lebih luas untuk *treatment* fitoremediasi. Karena metode tersebut yang mampu menurunkan kadar konsentrasi limbah *laundry* terbesar.
2. Merancang konsep wilayah kecil untuk menjadi ipal komunal khusus pengolah limbah *laundry* agar nilai TSS dan TDS bisa mengalami penurunan yang diduga disebabkan karena tidak ada air yang mengalir.
3. Perlu adanya waktu kerja minimal 5 hari kerja agar seluruh parameter dalam Perda DIY nomor 7 tahun 2016 dapat diujikan seluruhnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah S dan Subehi K. (2012). *Pengukuran dan Evaluasi Kualitas Air dalam Rangka Mendukung Pengelolaan Perikanan Di Danau Limboto*.
- Andara, D. R., Haeruddin, & Suryanto, A. (2014). Kandungan Total Padatan Tersuspensi, Biochemical Oxygen Demand dan Chemical Oxygen Demand Serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3), 177–187.
- Andini, V. (2015). ( *Tss* ) *Menggunakan Citra Aqua Modis Di Laut Senunu , Nusa Tenggara Barat*.
- Antoro, M. D., & Purnama, I. L. S. (2014). Studi Perubahan Kualitas Air di Sungai Progo Bagian Hilir D.I. Yogyakarta Tahun 2009 - 2013. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(4), 1–13.
- Apriyani, N., & Novrianti, N. (2020). Penggunaan Karbon Aktif Dan Zeolit Tak Teraktivasi Dalam Alat Penyaring Air Limbah Laundry. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 66–76.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 06-6989.3-2004 Air dan air limbah – Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri*. 10.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 06-6989.51-2005 Air dan air limbah - Bagian 51 : Cara uji kadar surfaktan dengan spektrofotometer secara biru metilen*. 9.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2005). Air dan air limbah - Bagian 27: Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri. *Sni 06-6989.27-2005*.
- Bordeau, P. dan M. T. (1978). *Aspects of Heavy Metals and Organo Halogen Pollution in Aquatic Ecosystems*. Plenum Press.
- Damayanti dan Maharani. (2013). Pengolahan Limbah Cair Industri Pewarnaan Jeans Menggunakan Membran Silika Nanofiltrasi Aliran Cross Flow untuk Menurunkan Warna dan Kekeruhan. *Teknik Pomits*, 2(2), 113–117.
- Doan, H. D., & Saidi, M. (2008). Simultaneous removal of metal ions and linear alkylbenzene sulfonate by combined electrochemical and photocatalytic process. *Journal of Hazardous Materials*, 158(2–3), 557–567.

- Eddy, M. dan. (1991). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. McGraw-Hill Book.
- Elvita dan Via. (2018). *Penentuan Turbiditas dan Total Dissolved Solid ( TDS ) pada Air Baku dan Air Reservoir Setelah Melalui Proses Pengolahan di PDAM Tirtanadi IPA Martubung*.
- Eriksson, E., Karina A., Mogen H., A. L. (2002). *Characteristic of grey wastewater*.
- Ge, J., Qu, J., Lei, P., & Liu, H. (2004). New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Separation and Purification Technology*, 36(1), 33–39.
- Henry, J. R. (2000). *An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury Prepared By Technology Innovation office. August*, 1–31.
- Hermawati, E. (2005). Phytoremediation of detergent wastes used *Pistia stratiotes* L. and *Limnocharis flava* L. *BioSMART*, 7(2), 115–124.
- Hoinkis, J., & Panten, V. (2008). Wastewater recycling in laundries-From pilot to large-scale plant. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(7), 1159–1164.
- Hokoyoku, Alfons, & Matin. (2018). *Kombinasi saringan pasir lambat dan fitoremediasi menggunakan eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi tss dan tds pada sungai away. June*.
- Imroatusshoolikhah, Purnama, & Suprayogi. (2014). Kajian kualitas air sungai code provinsi DIY. *Research Policy*, 9(2), 155–162.
- Irhamni, Pandia Setiaty, Purba Edison, & Hasan Wirsal. (2015). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Serambi Engineering*, 84.
- Jankowska, H. (1992). *Active Carbon*. Englewood Cliffs.
- Lasat, M. . (2002). Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Ournal of Environmental Quality Vol. 31 Pp. 109-120*.
- Luvita, E. H. (2016). *Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil Dengan Metode Ozonasi*.
- Mahida, U, N. (2008). Wastewater characteristics, treatment and disposal. In *Choice Reviews Online (Vol. 45, Issue 05)*. McGraw-Hill Book.



- Mary Kensa, V. (2001). Bioremediation - An overview. *Journal of Industrial Pollution Control*, 27(2), 161–168.
- Milton, J. . (1989). Surfactants and interfacial phenomena. In *Colloids and Surfaces* (Vol. 40).
- Mwegoha, W. J. S. (2008). the Use of Phytoremediation Technology for Abatement. *Sustainable Development*, 10(1), 140–156.
- Norma, A. (2007). Penentuan Kandungan Logam Berat Menggunakan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). *Skripsi*.
- Nugroho, A. (2019). *uji kualitas air sungai opak-oyo di kab bantul*. 2.
- Othmer, K. and. (1982). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley and Sons.
- Peraturan Daerah (PERDA). (2016). Baku Mutu Air Limbah. *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, 53(9), 1689–1699.
- Priyanto, B. (2006). *Deterjen Komersial Menggunakan Metode*. 7(3), 251–257.
- Rahadian Rahan, Sutrisno Endro, S. S. (2017). No Title. *Efisiensi Penurunan Cod Dan Tss Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Studi Kasus: Limbah Laundry*, 6(3), 1–8.
- Raissa, D. G., & Tangahu, B. V. (2017). Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu (Pistia stratiotes). *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 7–11.
- Rinawati, Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat ( Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid ) Di Perairan Teluk Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 1(01), 36–45.
- Riyanto. (2012). *Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3)*.
- Savitri, C. (2010). *Penurunan Kadar Organik Air Limbah Laundry Dengan Menggunakan*.
- SNI. (2009). Air dan Air Limbah - Bagian 2 : Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometer. *Sni 6989.2:2009*, 1–16.
- Soehartono. (2015). Penjernihan Air Dengan Saringan Pasir Dan Desinfektan Alami. *Neo Teknika*, 1(1).
- Sumarli, S., Yulianti, I., Masturi, M., & Munawaroh, R. (2016). *Pengaruh Variasi*

*Massa Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Pabrik Pakan Ternak Melalui Media Filtrasi. V, SNF2016-ERE-43-SNF2016-ERE-46.*

Tarigan dan Edward. (2010). Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) Di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara. *MAKARA of Science Series*, 7(3), 109–119.

U.S. EPA. (2000). Air Quality Criteria for Carbon Monoxide. *U.S.Environmental Protection Agency*.

Weber-Scannell, P. K., & Duffy, L. K. (2007). Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: A review of literature and recommendation for salmonid species. *American Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 1–6. 2007.1.6

Yudo, S. (2010). Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung Di Wilayah Dki Jakarta. *Jai*, 6(1), 8.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 - Hasil Pengujian Sampel C<sub>0</sub>

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	197.33	47%	107.33	71%	87.33	77%
TSS (mg/L)	100	10.50	12.50	-19%	17.50	-67%	25	-138%
TDS (mg/L)	2000	1650	1760	-7%	1750	-6%	1720	-4%
Deterjen (mg/L)	5	225.14	153.71	32%	89.43	60%	82.29	63%

### Lampiran 2 - Hasil Pengujian Sampel C<sub>1</sub>

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	107.33	71%	60.67	84%	40.67	89%
TSS (mg/L)	100	10.50	20	-90%	15.50	-48%	14	-33%
TDS (mg/L)	2000	1650	1700	-3%	1640	1%	1600	3%
Deterjen (mg/L)	5	225.14	118	48%	38	83%	10.86	95%

### Lampiran 3 - Hasil Pengujian Sampel C<sub>2</sub>

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	230.67	38%	124	67%	74	80%
TSS (mg/L)	100	10.50	4.50	57%	4	62%	3	76%
TDS (mg/L)	2000	1650	1710	-4%	1670	-1%	1660	-0.6%
Deterjen (mg/L)	5	225	418	-86%	368	-63%	153.71	32%

Lampiran 4 - Hasil Pengujian Sampel C<sub>3</sub>

Parameter	Batas Maksimal	Hari Ke-	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal	Hari Ke-	Persentase Removal
		0	1		2		3	
COD (mg/L)	150	374	130.67	65%	74	80%	67.33	82%
TSS (mg/L)	100	10.50	7	33%	5	52%	3	71%
TDS (mg/L)	2000	1650	1660	-1%	1640	1%	1620	2%
Deterjen (mg/L)	5	225	318	-41%	225	0%	139.43	38%



Lampiran 5 - Kondisi Tanaman 0 Jam



Lampiran 6 - Kondisi Tanaman 24 Jam



Lampiran 7 - Kondisi Tanaman 72 Jam



Lampiran 8 - Kondisi Tanaman 96 Jam

