

TA/TL/2020/1278

TUGAS AKHIR

**UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB)
DENGAN MEDIA PENYANGGA *POLYURETHANE*
SPONS UNTUK PENYISIHAN COD PADA AIR
LIMBAH *GREYWATER***

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



MUHAMMAD FATHURRAHMAN

16513077

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

YOGYAKARTA

2020

TUGAS AKHIR
UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB) DENGAN MEDIA
PENYANGGA *POLYURETHANE SPONS* UNTUK PENYISIHAN COD PADA
AIR LIMBAH *GREYWATER*


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



MUHAMMAD FATHURRAHMAN
16513077

Disetujui,
Dosen Pembimbing :


Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng.
NIK. 095130403
Tanggal :


Dr. Joni Aldilla F. S.T., M.Eng.
NIK. 165131306
Tanggal :

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc. ES. Ph.D
NIK. 025100406
Tanggal : 26 Februari 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB) DENGAN MEDIA
PENYANGGA *POLYURETHANE SPONS* UNTUK PENYISIHAN COD PADA
AIR LIMBAH *GREYWATER***

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 26 Februari 2021

Disusun Oleh :

Muhammad Fathurrahman

16513077

Tim Penguji

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

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

Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.



(*[Signature]*)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

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* computer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*).
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta saksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 14 Desember 2020

Yang membuat Pernyataan,



M FATHURRAHMAN

NIM : 16513077



“halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wa Taala* atas segala berkah, rahmat, inayah dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir yang berjudul **UNJUK KERJA *ECOLOGICAL FLOATING BED* (EFB) DENGAN MEDIA PENYANGGA *POLYURETHANE SPONS* UNTUK PENYISIHAN COD PADA AIR LIMBAH *GREYWATER***.

Selama proses penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan dukungan, bantuan, inspirasi dari banyak pihak. Maka dari itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar – besarnya dari lubuk hati yang paling dalam penulis kepada :

1. Allah *Subhanahu Wa Taala* yang telah memberikan nikmat yang tiada taranya kepada penulis.
2. Kepada orang tua penulis, Bapak Junaidi dan Ibu Siti Marhamah yang telah memberikan doa, kasih sayang dan dukungan bagi penulis.
3. Kepada adik penulis, Hanif Fatha Mustaqiem yang selalu memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. yang telah membimbing penulis dengan sepenuh hati.
5. Teman – teman Tugas Akhir EFB, Taufik, Ridwan, Rozin, Ucok, dan Ilham.
6. Teman – teman Teknik Lingkungan 2016 yang telah menemani penulis selama perkuliahan berlangsung.
7. *Staff* Laboratorium Teknik Lingkungan, yang telah membantu penulis selama penelitian berlangsung.
8. Pihak – pihak yang tidak dapat disebutkan satu – persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik penulis maupun pembaca.

Akhir kata penulis memohon maaf yang sebesar – besarnya apabila terdapat kesalahan kata dalam penulisan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta , 14 Desember 2020

Muhammad Fathurrahman



ABSTRAK

Muhammad Fathurrahman, Unjuk Kerja *Ecological Floating Bed* dengan Media Penyangga *Polyurethane Spons* untuk Penyisihan COD pada Air Limbah *Greywater*. Dibimbing oleh Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Perkembangan wilayah dan peningkatan jumlah penduduk akan diiringi dengan meningkatnya produksi air limbah domestik. Selain itu, banyaknya rumah yang belum terintegrasi dengan saluran pembuangan air limbah mengakibatkan masyarakat membuang air limbahnya langsung ke badan air, sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran air. Teknologi *ecological floating bed* termasuk dalam teknologi alternatif pengolahan air limbah yang ekonomis, mudah dioperasikan, dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan tanaman sebagai agen fitoremediasi. Penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh modifikasi reaktor *ecological floating bed* menggunakan media *polyurethane spons* dengan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menyisihkan kandungan COD air limbah. Penelitian ini menggunakan 3 jenis reaktor yaitu kontrol, EFB, EFB + Spons dan dilakukan dalam dua (2) tahap agar dapat terlihat perbedaan dari tiap reaktor dalam menyisihkan COD. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, adanya modifikasi reaktor dengan *polyurethane spons* memiliki kinerja lebih baik dibandingkan dengan kedua reaktor lainnya. Hal ini dapat dilihat pada tahap 1 reaktor kontrol, EFB, dan EFB + Spons mampu menurunkan konsentrasi COD air limbah sebesar 61,86%, 65,22%, dan 69,03%. Sedangkan pada tahap 2 masing masing reaktor mampu menurunkan konsentrasi COD sebesar 56,53%, 82,51% dan 87,14%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa modifikasi *ecological floating bed* dengan *polyurethane spons* mampu digunakan sebagai teknologi alternatif untuk memperbaiki kualitas perairan yang tercemar.

Kata Kunci : Air Limbah, Eceng Gondok, *Ecological Floating Bed*, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Polyurethane Spons*

ABSTRACT

Muhammad Fathurrahman, *Work Method of Ecological Floating Bed with Polyurethane Sponge as Supporting Media to Remove COD in Greywater Wastewater. Supervised by Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng and Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.*

*Regional development and increasing population will be accompanied by increased production of domestic wastewater. Besides the large number of houses that have not been integrated with the sewerage channel has resulted in people dumping their wastewater directly into water bodies, causing water pollution. Ecological floating bed technology is included as an alternative technology for wastewater treatment that is economical, easy to operate, and environmentally friendly by utilizing plants as phytoremediation agents. This study describes the effect of modification of the floating bed ecological reactor using polyurethane sponge media with water hyacinth (*Eichornia crassipes*) to remove COD content in the wastewater. This study used 3 types of reactors, namely control, EFB, EFB + Sponge, and was carried out in two (2) stages to see the differences between each reactor in removing COD. Based on the research, the modification of the reactor with polyurethane sponge has a better performance than the other two reactors. This can be seen in stage 1 the control reactor, EFB, and EFB + Sponge was able to reduce the COD concentration of wastewater by 61.86%, 65.22%, and 69.03%. Whereas in stage 2 each reactor was able to reduce COD concentrations by 56.53%, 82.51%, and 87.14%. Based on these results it can be concluded that the ecological modification of floating bed with polyurethane sponge can be used as an alternative technology to improve the quality of polluted waters.*

Key Word : Wastewater, Water Hyacinth, Ecological Floating Bed, Chemical Oxygen Demand, Polyurethane Sponge

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	iii
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Domestik <i>Greywater</i>	5
2.2 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	6
2.3 <i>Ecological Floating Bed</i> (EFB).....	7
2.4 Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichornia Crassipes</i>).....	10
2.5 Modifikasi Spons.....	11
2.6 Penelitian Terdahulu.....	13
BAB III.....	18
METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2 Tahapan Penelitian.....	18
3.3 Analisis Data.....	24

BAB IV	26
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Karakterisasi Air Limbah	26
4.2 Operasional Reaktor	27
4.3 Efisiensi Removal.....	33
4.4 Efek Beban Pengolahan.....	35
BAB V	44
KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	52





“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Karakteristik Air Limbah <i>Greywater</i> Menurut Ahli	5
Tabel 2 Komponen dan Bahan <i>Ecological Floating Bed</i>	8
Tabel 3 Resume Penelitian Terdahulu.....	13
Tabel 4 Spesifikasi Reaktor yang Dipakai.....	20
Tabel 5 Interval Waktu Sampling Parameter Utama dan Parameter Pendukung.....	22
Tabel 6 Komposisi Air Limbah Sintetis pada Tahap 1 dan Tahap 2	22
Tabel 7 Alat dan Metode Pengujian Tiap Parameter.....	24
Tabel 8 Perbandingan Konsentrasi Air Limbah Sintetis dan Standar Air Limbah <i>Greywater</i>	26
Tabel 9 Konsentrasi Parameter Pendukung.....	27
Tabel 10 Konsentrasi Parameter Utama Tahap 2	36



“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Mekanisme Penyisihan Polutan Dengan <i>Ecological Floating Bed</i>	9
Gambar 2 Tanaman Eceng Gondok.....	11
Gambar 3 Contoh Modifikasi <i>Ecological Floating Bed</i> dengan <i>Sponge Iron</i> dan <i>Zeolite</i>	12
Gambar 4 (a) <i>Polyurethane Sponge</i> Tanpa Perbesaran; (b) <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) <i>Polyurethane Sponge</i>	13
Gambar 5 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 6 (a) Tampak Atas Reaktor; (b) Tampak Samping Reaktor	21
Gambar 7 (a) Proses Aklimatisasi Tanaman Kangkung Air; (b) Tanaman Kangkung Air yang Mati	28
Gambar 8 Proses Aklimatisasi Tanaman Eceng Gondok	29
Gambar 9 Batang Tanaman Eceng Gondok yang Mengalami Pembusukan	29
Gambar 10 Grafik Nilai pH Selama Penelitian	30
Gambar 11 Grafik Pengukuran Suhu Air Limbah Selama Penelitian	31
Gambar 12 Grafik Pengukuran <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) Selama Penelitian.....	32
Gambar 13 Grafik Efisiensi <i>Removal Chemical Oxygen Demand</i> (COD) Selama Penelitian.....	34
Gambar 14 Perbandingan Penyisihan <i>Chemical Oxygen Deman</i> (COD) Tahap 1 dan Tahap 2.....	37
Gambar 15 (a) Alga <i>Blooming</i> pada Reaktor Kontrol; (b) Sampel Alga yang Mengendap didalam Gelas Beker.....	38
Gambar 16 Penambahan Media Penyangga <i>Polyurethane Spons</i> pada Reaktor EFB + Spons di Daerah Perakaran Tanaman Eceng Gondok.....	40
Gambar 17 Perbandingan Efisiensi <i>Removal</i> Tahap 1 dan Tahap 2 pada Tiap Reaktor	41

Gambar 18 (a) *Polyurethane Spons* Sebelum Digunakan; (b) Spons Setelah Digunakan 42





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan kampus UII secara umum akan disertai dengan pembangunan fasilitas sarana dan prasarana disekitar wilayah kampus. Adanya peningkatan pembangunan mengakibatkan tingginya kebutuhan air bersih. Tingginya kebutuhan air bersih akan diiringi dengan peningkatan produksi air limbah domestik. Mayrina (2015) menyatakan bahwa sekitar 60 – 80% dari total kebutuhan air bersih akan berakhir menjadi limbah cair domestik. Limbah cair domestik merupakan sumber utama pencemar di badan air dan diperkirakan 50 – 75% dari beban organik sungai berasal dari limbah domestik ini (Nelwan et al., 2003). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rafika (2019) konsentrasi COD pada air limbah *greywater* kantin UII Terpadu menunjukkan angka sebesar 726,5 sebesar mg/l. Konsentrasi COD pada Kantin Terpadu UII jelas melebihi baku mutu yang ditetapkan pada Permen LHK No.68 Tahun 2016 dimana konsentrasi COD untuk air limbah domestik sebesar 100 mg/l.

Ada berbagai macam parameter uji air limbah *greywater*. Salah satu parameter uji dalam penentuan kualitas air limbah ialah *Chemical oxygen demand* (COD). *Chemical oxygen demand* (COD) menunjukkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia (Meita Sari et al., 2016). Konsentrasi COD yang tinggi dalam badan air mengakibatkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah tinggi serta mikroorganisme baik secara patogen dan tidak patogen sehingga dapat menimbulkan berbagai macam penyakit bagi manusia. Selain itu konsentrasi COD yang tinggi mengakibatkan kandungan oksigen terlarut dalam air menjadi rendah bahkan habis. Hal tersebut dapat menyebabkan kematian flora dan fauna dalam perairan karena kebutuhan oksigen yang tidak tercukupi. Kematian flora dan fauna menyebabkan timbulnya bau busuk yang menyengat di sekitar badan air sehingga dapat mengganggu kenyamanan penduduk. Pengolahan

limbah cair *greywater* sangat penting untuk dilakukan sebagai usaha dalam mengurangi polutan dalam air buangan sehingga layak untuk dibuang ke badan air. Salah satu caranya ialah dengan menggunakan *Ecological Floating Bed* (EFB).

Pada tahun 1980 *Ecological floating bed* (EFB) digunakan untuk pertama kalinya oleh mahasiswa di Jerman untuk merestorasi air danau (Nakamura and Shimatani, 1997). *Ecological floating bed* (EFB) adalah suatu teknologi ramah lingkungan, ekonomis dan berkelanjutan yang berfungsi untuk merestorasi air sungai yang tercemar. Efisiensi polutan *removal* pada sistem EFB sangat dipengaruhi oleh struktur, tingkat aerasi, suhu, dan kandungan polutan dalam air limbah (Headley and Tanner, 2012). Oleh karena itu pengembangan terus dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja *ecological floating bed* (EFB).

Salah satu cara untuk mengoptimalkan kinerja *ecological floating bed* adalah dengan melakukan modifikasi. Modifikasi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan media penyangga *polyurethane* spons. *Polyurethane* spons memiliki struktur berpori dan mempunyai porositas yang tinggi. Selain itu *polyurethane* spons juga dapat digunakan sebagai rumah bagi mikroorganisme (Wa Atima, 2015). Menurut Wang (2020) penggunaan spons sebagai media pada *ecological floating bed* mampu memberikan dampak lebih dibandingkan dengan *ecological floating bed* konvensional.

Terdapat berbagai macam jenis tanaman yang lazim digunakan pada *ecological floating bed* sebagai agen untuk menyisihkan polutan. Salah satunya ialah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok dikenal sebagai salah satu tanaman yang memiliki daya tahan yang tinggi pada berbagai iklim dan kondisi. Selain itu eceng gondok juga dikenal karena kemampuannya dalam menyerap polutan organik bahkan logam berat yang terlarut dalam air sehingga mampu menurunkan pencemaran yang terjadi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Raissa (2017) eceng gondok mampu menurunkan COD hingga 85,73 %.

Penelitian menggunakan *ecological floating bed* (EFB) menggunakan media penyangga *polyurethane* spons dan tanaman eceng gondok diharapkan mampu menjadi solusi untuk menyisihkan COD. Penelitian ini dilakukan di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Unniversitas Islam Indonesia (UII) dengan menggunakan *ecological floating bed* (EFB) menggunakan media penyangga *polyurethane* spons untuk mengetahui penyisihan kadar COD dalam air limbah *greywater*.

1.2 Perumusan Masalah

Pencemaran air saat ini masih menjadi masalah yang belum terselesaikan. Diperlukan teknologi pengolahan air limbah yang mampu menjadi terobosan untuk mengatasi masalah tersebut. *Ecological floating bed* adalah salah satu teknologi yang ramah lingkungan, ekonomis, *sustainable* dan mampu diaplikasikan langsung pada perairan yang tercemar. Berdasarkan uraian diatas maka dapat ditarik rumusan masalah mengenai "Bagaimana kinerja reaktor *ecological floating bed* (EFB) menggunakan media penyangga spons untuk penyisihan *chemical oxgen demand* (COD) pada air limbah *greywater*".

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja *Ecological Floating Bed* (EFB) dengan tumbuhan eceng gondok serta menggunakan *polyurethane* spons sebagai media penyangga untuk menyisihkan kandungan COD pada air limbah *greywater*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini baik bagi perguruan tinggi, masyarakat dan pemerintah, yaitu :

1. Memberikan referensi opsi teknologi pengelolaan *greywater*.
2. Memberikan solusi bagi masyarakat kampus UII dalam mengelola *greywater*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Limbah *greywater* yang digunakan merupakan air limbah buatan / air limbah sintetis.
3. Limbah *greywater* sintetis yang dibuat menyerupai air sungai.
4. Tanaman yang digunakan adalah tanaman eceng gondok.
5. Media penyangga yang digunakan adalah *polyurethane* spons dengan dimensi 3 cm x 3 cm x 3 cm
6. Parameter yang akan diuji adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Domestik *Greywater*

Berdasarkan Sugiharto (2008) didalam bukunya yang berjudul *Dasar – dasar Pengelolaan Air Limbah* yang dimaksud dengan limbah cair domestik ialah air yang telah dipergunakan dan berasal dari rumah tangga atau pemukiman diantaranya berasal dari kamar mandi, tempat cuci, WC, serta tempat memasak. Air limbah domestik dibagi menjadi 2 yaitu *black water* dan *greywater*. *Black water* berasal dari hasil limbah tinja, air kencing sedangkan *greywater* berasal dari penggunaan air mandi, air limbah dapur dan air cucian (Nusa Idaman Said, 2007). *Greywater* merupakan cerminan dari aktivitas rumah tangga, karakteristik utamanya sangat bergantung pada faktor – faktor seperti kebiasaan atau budaya, standar hidup, jumlah penduduk, dan bahan kimia rumah tangga yang digunakan (Morel and Diener, 2006).

Limbah cair *greywater* sebagian besar berupa air dan partikel padatan terlarut dan padatan tidak terlarut (Santoso, 2015). berikut ini adalah karakteristik limbah cair *greywater* secara umum menurut beberapa penelitian :

Tabel 1 Karakteristik Air Limbah *Greywater* Menurut Ahli

No	Peneliti	Suhu (°C)	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
1	Purnomo & Khairina (2016)	29	6,92	195	290	480
2	Eriksson (2002)	18 - 38	5 – 10	5 – 1460	13 - 8000	120 - 450

Limbah domestik *greywater* mengandung sisa bahan organik, detergen, minyak yang dimana dalam skala kecil tidak banyak mempengaruhi lingkungan. Tetapi dalam

jumlah banyak akan sangat mempengaruhi lingkungan. Dampak yang ditimbulkan dari pembuangan air limbah menurut Eddy (2008) antara lain :

1. Gangguan pada kesehatan manusia

Gangguan pada kesehatan manusia disebabkan oleh adanya kandungan virus, bakteri, senyawa nitrat, beberapa bahan kimia dan jenis pestisida yang terdapat pada rantai makanan, serta beberapa kandungan logam seperti kadmium, merkuri, dan timbal.

2. Gangguan pada ekosistem perairan

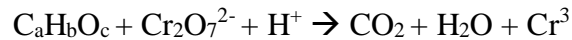
Kerusakan pada ekosistem perairan disebabkan oleh fenomena eutrofikasi yaitu pencemaran air yang disebabkan oleh *nutrient* yang berlebih di dalam air sehingga memicu pertumbuhan alga, eceng gondok dan tumbuhan air berukuran mikro secara pesat. Eutrofikasi dikatakan jika konsentrasi total *phosphorus* (TP) di dalam air berada dalam rentang 35 -100 µg/L.

3. Gangguan estetika

Gangguan estetika dan kenyamanan berupa warna, bau dan rasa. Kerusakan benda yang diakibatkan oleh karat dan air berlumpur dapat menyebabkan kualitas tempat rekreasi dan perumahan akibat bau serta eutrofikasi.

2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD atau kebutuhan oksigen kimia ialah jumlah oksigen yang dibutuhkan agar polutan organik yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD merupakan salah satu parameter bagi tingkat pencemaran air oleh bahan organik (Nurhasanah, 2009). COD sangat erat keterkaitannya dengan BOD, hal ini dikarenakan jumlah selisih nilai antara COD dan BOD akan memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit diurai dalam air (Wa Atima, 2015). Polutan organik tersebut akan dioksidasi oleh senyawa kalium bikromat yang berfungsi sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) menjadi CO₂ dan H₂O serta ion krom, reaksinya adalah sebagai berikut :



Apabila dalam suatu perairan ditemukan bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, contohnya tannin, fenol, polisakarida maka lebih dianjurkan untuk melakukan pengukuran COD dibandingkan dengan pengukuran BOD (Yuliasuti, 2011).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No P.68 Tahun 2016 kadar maksimum COD yang diperbolehkan dibuang ke perairan adalah sebesar 100 mg/l. Kadar COD yang tinggi akan menimbulkan dampak negatif bagi sektor perikanan dan pertanian. Pada umumnya kadar COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya tidak melebihi 20mg/L, namun pada perairan yang tercemar kadar COD lebih dari 200 mg/L sedangkan pada limbah industri kadar COD mencapai 60.000 mg/L(Lina Warlina, 2004).

2.3 Ecological Floating Bed (EFB)

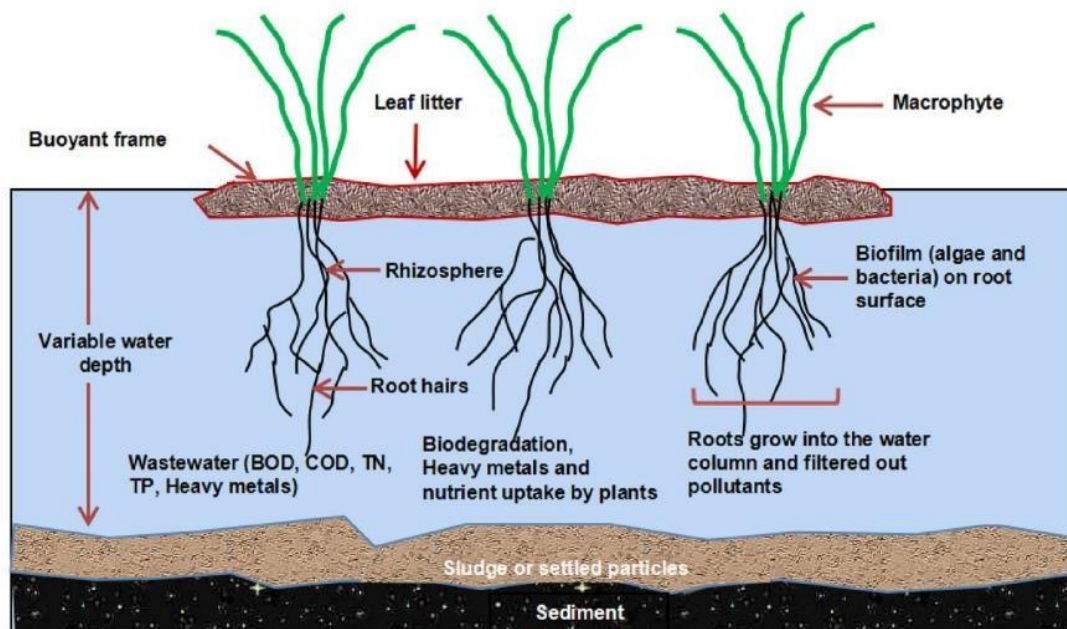
Ecological floating bed (EFB) merupakan teknologi ramah lingkungan, ekonomis dan berkelanjutan yang digunakan untuk merestorasi air danau yang tercemar. Efektivitas sistem EFB dalam menurunkan polutan dalam air sangat dipengaruhi oleh struktur, suhu, aerasi serta kandungan polutan air limbah (Headley and Tanner, 2012). Menurut Coveney (2002) *ecological floating bed* (EFB) mempunyai keunggulan karena pengaplikasiannya tidak ditanah melainkan mengapung diatas air. Hal ini merupakan keunikan yang dimiliki sistem EFB dibandingkan dengan sistem *wetland* konvensional yang berbasis makrofit. Sedangkan menurut Li (2007) keunggulan dari sistem EFB adalah adanya produk sampingan dari tanaman yang digunakan dan selanjutnya dapat dikonsumsi hewan bahkan manusia atau dapat diolah menjadi biogas, pupuk organik, biomaterial yang bernilai ekonomis. Selain memiliki banyak kelebihan sistem ini juga mempunyai kekurangan antara lain sulit untuk diaplikasikan pada kondisi aliran yang deras, sulit untuk mengontrol waktu retensi hidrolis dan sangat rentan terhadap bencana alam (banjir, badai dan topan) (Li

et al., 2010). Menurut ... *Ecological floating bed* terdiri dari beberapa komponen bagian sebagai berikut :

Tabel 2 Komponen dan Bahan *Ecological Floating Bed*

No	Komponen	Bahan
1	Carrier	Pipa pvc, <i>Styrofoam plate</i> , <i>cihylne vinyl acetate foam</i> , <i>plastic net</i> , dll
2	Tanaman	Eceng gondok, kangkung air, padi, <i>canna</i> , <i>cyperuspapyrus</i> , dll
3	Media	Spons, zeolite, <i>iron spons</i> , karbon aktif, batu vulkanik, dll

Penurunan kadar polutan organik dalam air terjadi karena akar yang menggantung dalam air akan membentuk pola seperti jaring sehingga memungkinkan untuk menangkap zat organik. Oksigen dari daun akan dialirkan ke akar tanaman dan dilepaskan sehingga akan membantu pertumbuhan mikroba aerob dan nitrifier (Abed et al., 2017). Pada permukaan akar akan terbentuk suatu area untuk perkembangbiakan bakteri dan jamur yang dapat meningkatkan jumlah biomassa atau dikenal juga sebagai *biofilm*. Selain itu akar juga melepaskan beberapa gula dan vitamin seperti riboflavin, tiamin, piridoksin dll serta asam organik seperti sitrat, malat, oksalat, asam amino, asam benzoate, fenol dll dalam suatu proses yang disebut rhizodeposisi (Chang et al., 2013). Gula dan vitamin yang dilepaskan akan merangsang pertumbuhan mikroba. Polutan zat organik yang melewati akar akan menempel pada *biofilm*, sehingga zat polutan akan dikonsumsi oleh mikroba dan mengakibatkan penurunan polutan organik. Efisiensi penurunan zat organik tergantung pada metabolisme bakteri, jamur dan ganggang yang ada pada lapisan biofilm (Chen et al., 2012).



Sumber : Samal (2019)

Gambar 1 Mekanisme Penyisihan Polutan Dengan *Ecological Floating Bed*

Faktor yang mempengaruhi kinerja EFB dalam menurunkan polutan organik di perairan antara lain adalah :

1. Tanaman yang digunakan

Pemilihan tanaman yang digunakan adalah salah satu faktor kunci yang dapat mempengaruhi penurunan kadar polutan air (Li-ming et al., 2010). Hal ini dikarenakan adanya perbedaan fisiologis tiap tanaman (X. R Mao , 2011). Secara umum tanaman dengan akar serabut memiliki tingkat efektivitas lebih tinggi dalam menurunkan polutan dibanding dengan akar tunggang. Selain itu tanaman yang memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi lebih baik dibandingkan tanaman dengan tingkat pertumbuhan yang rendah. Hal tersebut dikarenakan tanaman dengan tingkat pertumbuhan yang tinggi dan memiliki akar yang berkembang dapat menyerap banyak zat organik, sehingga efek penurunan polutan air lebih besar (Ge et al., 2000).

2. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penunjang pertumbuhan tanaman. Ketika suhu tinggi metabolisme pertumbuhan tanaman akan meningkat sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan zat polutan (J. F Zhen et al., 2008). Namun menurut Zhao (2012) tiap tanaman memiliki suhu optimalnya masing masing sehingga suhu air yang hangat tidak selalu memberi dampak yang optimal bagi penurunan polutan.

3. Waktu

Efektivitas sistem EFB sangat erat kaitannya dengan waktu (Wu et al., 2016). Sebagai contoh tanaman *lycopus*, *rumex japonicas* yang mampu mendegradasi kandungan nitrogen dan fosfor secara optimal dalam 30 hari pertama, sementara pada 30 hari selanjutnya mengalami penurunan (J. F Zhen et al., 2008). Sebuah studi menyatakan bahwa kecenderungan tanaman dalam menurunkan polutan pada awalnya meningkat kemudian akan menurun (Ajayi and Ogunbayio, 2012).

4. Area cakupan

Efisiensi penurunan kadar polutan pada sistem EFB secara langsung berkaitan dengan cakupan EFB. Jika cakupannya luas maka efisiensi penurunan kadar polutan akan meningkat. Sebagai contoh EFB dengan tanaman bayam yang memiliki cakupan 20% dari luas area restorasi memiliki efektivitas tinggi dalam menurunkan polutan dan nilai ekonomisnya lebih tinggi dibanding EFB dengan cakupan 10% dan 15% (Chen et al., 2012).

2.4 Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*)

Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) termasuk dalam kingdom *plantae*, divisi *tracheophyta*, kelas *Magnoliopsida* dan family *Pontederiaceae*. Tanaman ini dapat hidup pada iklim tropis atau subtropis. Lingkungan yang ideal bagi eceng gondok hidup adalah perairan dangkal serta keruh, dengan pH antara 4 – 12 dan suhu antara 28 -30°C. Daya tahan yang tinggi serta perkembangbiakan yang cepat merupakan salah satu ciri

– ciri tanaman ini (Gerbono & Djarijah, 2005). Menurut Ratnani (2011) eceng gondok memiliki ciri daun yang berbentuk bulat telur dan ujung yang tumpul. Tulang daun yang membengkok serta berbentuk bulat telur dan ujungnya tumpul. Pada bagian permukaan atas daun tersebar stomata dengan jumlah banyak. Selain itu tanaman ini mempunyai akar serabut.



Sumber : [www.bebeja.com/eceng-gondok-sumber-](http://www.bebeja.com/eceng-gondok-sumber-hormon)

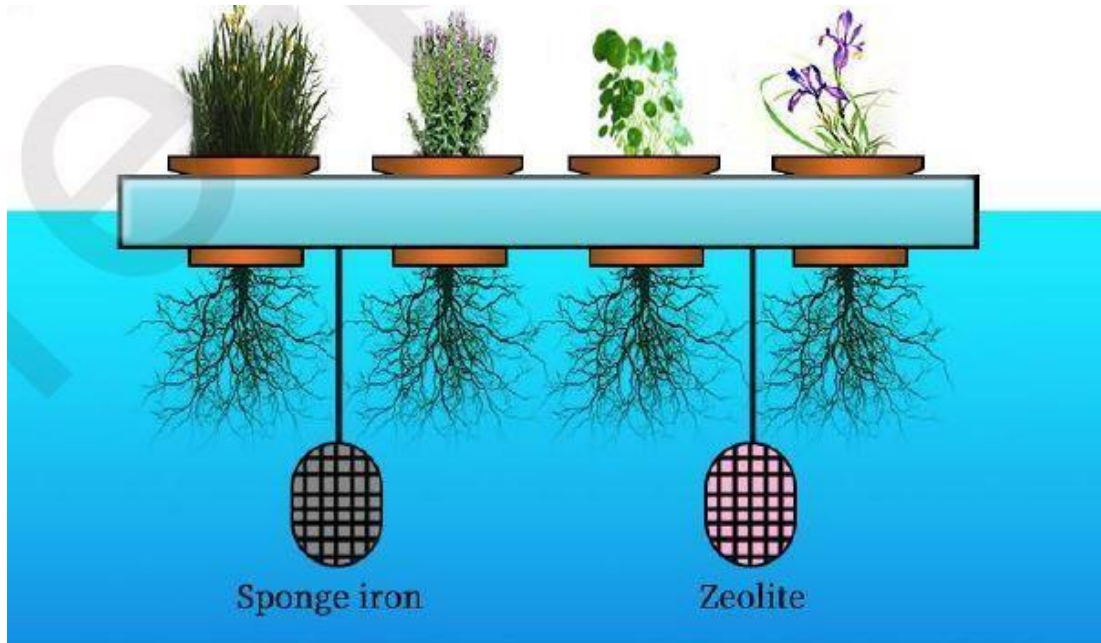
hormon

Gambar 2 Tanaman Eceng Gondok

Keunggulan dari eceng gondok antara lain dalam hal fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Tanaman ini mampu mengapung pada perairan karena memanfaatkan kantung – kantung udara yang terdapat pada akar, batang dan daun. Selain itu eceng gondok mampu menyerap nitrogen serta fosfor pada perairan. Hal ini menjadi indikasi bahwa eceng gondok berpotensi digunakan sebagai pembersih air pada beberapa industri dan rumah tangga (Ratnani et al., 2011).

2.5 Modifikasi Spons

Ecological floating bed terus berkembang sebagai salah satu teknologi alternatif untuk menangani masalah pencemaran air. Salah satu bentuk perkembangan ecological floating bed adalah dengan penambahan media spons. Adanya modifikasi struktur ecological floating bed mampu meningkatkan kinerja *ecological floating bed* (Deng and Ni, 2013).



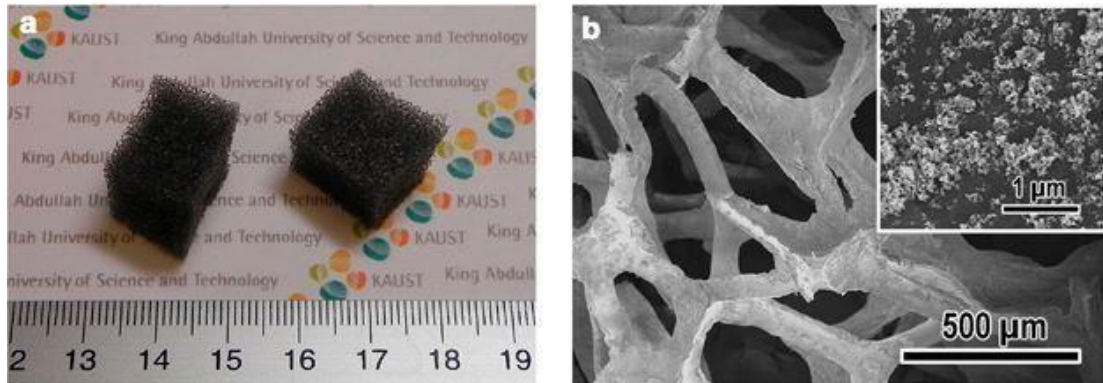
Sumber : Wang (2018)

Gambar 3 Contoh Modifikasi *Ecological Floating Bed* dengan *Sponge Iron* dan *Zeolite*.

Pemilihan media pada sistem *attached growth* sangat menentukan kinerja dari suatu reaktor. Pemilihan media yang sesuai dan efektif untuk mendukung kinerja reaktor telah menjadi pokok pembahasan pada beberapa artikel penelitian (Zhang et al., 2016). Spons merupakan salah satu media penyangga yang berfungsi sebagai media filter sekaligus rumah bagi bakteri tumbuh. Karena dapat menyerap dan menyimpan cairan serta harganya yang relatif murah maka spons menjadi salah satu media penyangga yang lazim digunakan (Leontine et al., 2013).

Polyurethane merupakan media pertumbuhan yang ideal bagi mikroorganisme. Porositas yang tinggi, harganya yang relatif terjangkau, ringan dan elastis merupakan keunggulan dari spons jenis *polyurethane* (Jiang et al., 2013). Menurut Nicholson & Thornberry (1997) bentuk kubus spons *polyurethane* mampu mendistribusikan air limbah melalui lubang pori yang tersebar merata. Jenis *spons* ini memiliki struktur yang

berpori serta memiliki porositas tinggi sehingga dapat menjadi rumah bagi mikroorganisme untuk berkembang karena itu mampu untuk menurunkan kadar COD dan TSS.



Sumber : Zhang et al (2012)

Gambar 4 (a) *Polyurethane Sponge* Tanpa Perbesaran; (b) *Scanning Electron Microscopy (SEM) Polyurethane Sponge*.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kumpulan jurnal – jurnal yang terkait dengan penelitian yang dilakukan, sehingga dapat dijadikan referensi bagi penulis. Selain itu penelitian terdahulu mempermudah penulis untuk mengambil langkah – langkah yang sistematis baik dari segi teori maupun konsep. Berikut ini merupakan penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 3 Resume Penelitan Terdahulu.

No	Peneliti	Topik	Metode	Hasil
1	Xu et al. (2010)	Analisis penurunan kadar nitrat, fosor dan COD menggunakan <i>ecological floating bed (EFB)</i> dengan tanaman <i>Canna</i>	Melakukan penelitian dari bulan maret sampai agustus 2007 dan musim gugur bulan oktober 2007	Berkurangnya kadar kadar COD, N dan P selama musim gugur dan musim dingin. Hasil uji menunjukkan

	<i>indica</i> dan <i>Cyperus alternifolius</i>	sampai januari 2008. Tingkat kelangsungan hidup dan tinggi diukur secara teratur. Nitrogen, pospat dan cod diukur tiap minggu untuk mengetahui kinerja EFB menggunakan spektrofotometer.	penurunan COD sebesar 23%, N sebesar 20,1% dan P sebesar 45%.	
2	Kyambadde et al. (2004)	Pengaruh tanaman <i>Cyperus papyrus</i> dan <i>Miscanthidium</i> pada penurunan amonium, fosfor dan nitrogen dengan sistem <i>constructed wetland</i>	Menggunakan <i>constructed wetland</i> berdimensi 300 cm x 250 cm x 20 cm, dengan tanaman <i>Cyperus papyrus</i> dan <i>Miscanthidium</i> selama 6 bulan pada musim panas pada air limbah yang berasal dari <i>secondary effluent</i> . Dipantau	Selama 6 bulan penelitian terjadi penurunan zat organik antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - BOD sebesar 83,1% - NH₄ sebesar 60,2% - TN sebesar 66,8%

			secara teratur dan uji kandungan zat organik menggunakan spektrofotometer	- TP sebesar 61,8%
3	Sheng et al. (2013)	Efisiensi kerja <i>ecological floating bed</i> (EFB) termodifikasi pada sungai tercemar berat	Menggunakan EFB termodifikasi dengan material filter dan biofilm yang diaplikasikan di sunga dengan tanaman <i>Equisetum sp</i> serta <i>Ipomoea aquatica</i>	Terjadi penurunan zat organik antara lain : - COD sebesar 23,5 % - NH ₄ ⁺ -N sebesar 70,6 % - NO ₃ ⁻ -N sebesar 33,9 % - NO ₃ ⁻ -N sebesar 49,2% - sebesar 53,8 % - 69,5%
4	Rinaldi (2019)	Pengaruh tanaman <i>Vetiver zizanioides</i> dan bakteri pada penurunan kandungan amonia, BOD dan COD air limbah dengan	Menggunakan floating wetland dan constructed wetland dengan tanaman <i>vetiver zizanioides</i> . Waktu tinggal air limbah pada	Hasil penelitian menunjukkan reaktor continuous wetland menggunakan tanaman rumput vetiver serta

		kombinasi reaktor <i>wetland</i>	reaktor selama 5 hari dan sampel diambil setiap 5 hari sekali	bakteri dapat mengurangi kandungan Ammonia sebesar 2,69-95,02%, COD (Chemical Oxygen Demand) 20,55-65,38% dan BOD (Biochemical Oxygen Demand) 1-59,60%
5	Noor Kumalasari (2005)	Efisiensi kerja <i>constructed wetland</i> dengan tanaman gondok air untuk penurunan konsentrasi BOD,COD, TSS dan CN pada air limbah industri tapioka	kerja dengan <i>wetland tipe free water surface</i> . Dimensi reaktor 1 m x 0,5 m x 0,5 m dengan waktu detensi 10 hari. Sampel diambil setiap 2 hari.	Effisiensi penurunan konsentrasi tiap parameter adalah sebagai berikut : BODs sebesar 87,99 %, COD sebesar 85,37 %, ISS sebesar 80,65 % dan CN sebesar 99,91 %.

Berdasarkan tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa *ecological floating bed* (EFB) terbukti mampu menurunkan kadar pencemar dalam air. Efisiensi penurunan kadar pencemar dalam air sangat dipengaruhi oleh tanaman yang digunakan, tipe perairan, karakteristik air, luas cakupan *floating bed* dan jenis media penyangga yang digunakan. Maka dari itu penulis dapat menarik hipotesis bahwa penggunaan tanaman eceng gondok beserta media penyangga spons pada *ecological floating bed* mampu menurunkan konsentrasi COD dalam air secara signifikan.



BAB III

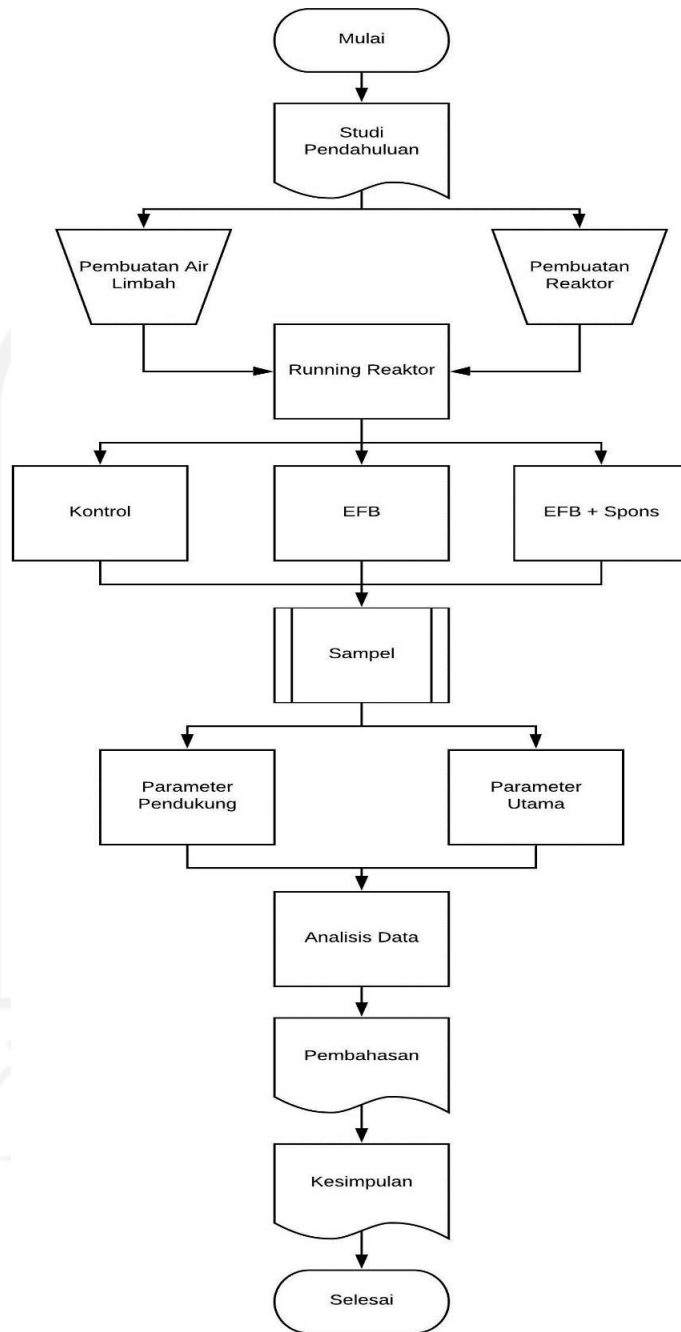
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pembuatan reaktor, pengambilan sampel dan pengukuran kadar COD dilakukan selama kurang lebih 4 bulan dari bulan juli hingga oktober. Pembuatan reaktor, penempatan reaktor dilakukan di sisi timur Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Untuk air limbah berasal dari sungai sisi timur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sedangkan untuk pengukuran kadar COD dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan secara bersama oleh empat (4) mahasiswa Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian yang dilakukan mengenai kinerja sistem *ecological floating bed* (EFB) menggunakan tanaman eceng gondok dan media penyangga spons untuk menurunkan kadar COD dalam air limbah *grey water*. Air limbah yang digunakan berasal dari sungai sisi barat FTSP. Perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan 3 mahasiswa lainnya terletak pada parameter khusus yang diuji. Tahap penelitian berbentuk diagram alir untuk menjelaskan langkah penelitian yang dapat dilihat dibawah ini :



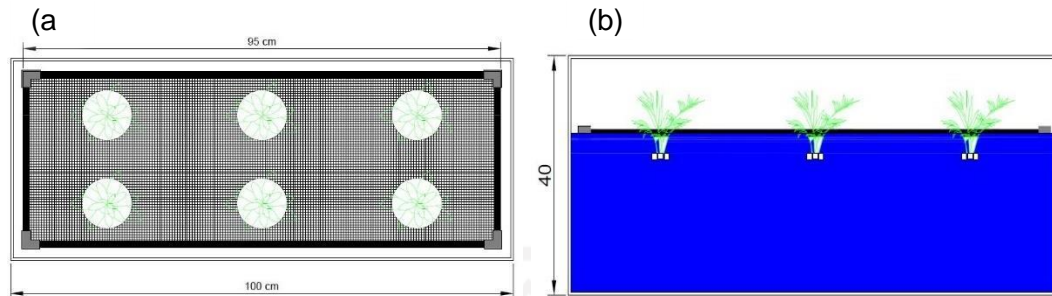
Gambar 5 Diagram Alir Penelitian.

3.2.1 Pembuatan Reaktor

Pada penelitian ini, reaktor didesain secara batch dengan menggunakan akurarium ukuran 100 cm x 40 cm x 40 cm berbahan kaca bening yang berfungsi sebagai penampung air limbah. Selanjutnya pembuatan *floating bed* dengan bahan dasar pipa pvc ukuran ½ inch. *Floating bed* yang digunakan berbentuk persegi panjang, pada bagian atas diberi jaring ram besi dan dilubangi sebanyak jumlah tanaman yang digunakan. Tanaman yang digunakan adalah eceng gondok yang diambil dari Sungai Kuning. Tanaman yang diambil adalah tanaman yang sehat dan memiliki ciri fisik yang sama. Reaktor yang dibuat berjumlah 3 buah, pada reaktor pertama hanya berisi air limbah sebagai kontrol, kemudian reaktor kedua berisi *floating bed* dan pada reaktor ketiga diberi penambahan media penyangga spons. Pada penelitian ini panjang floating bed yang digunakan lebih kecil daripada panjang akuarium agar floating bed bisa dimasukkan dalam akuarium. Selain itu tidak ada penambahan mikroorganisme pada media penyangga spons. Mikroorganisme diharapkan secara alami menempati media spons sebagai tempat tinggalnya.

Tabel 4 Spesifikasi Reaktor yang Dipakai.

Reaktor	Jenis Reaktor	Dimensi	Tanaman	Media
1	Kontrol	100 cm x 40cm x 40 cm	Eceng gondok	-
2	EFB	100 cm x 40 cm x 40 cm	Eceng gondok	-
3	EFB + Spons	100 cm x 40 cm x 40 cm	Eceng gondok	Spons



Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 6 (a) Tampak Atas Reaktor; (b) Tampak Samping Reaktor.

3.2.2 Pengoprasian Reaktor

Pengoprasian reaktor diawali dengan mengisi reaktor dengan air limbah *greywater*. Air limbah yang digunakan merupakan air limbah sintetik / air limbah buatan dan telah dilakukan pengujian untuk mengetahui adanya kandungan COD didalamnya.. Kedalaman air limbah dalam reaktor berkisar 30 cm. Kemudian adalah tahap aklimatisasi tanaman eceng gondok selama 8 hari dan pengambilan sampel parameter utama setiap 2 hari sekali. Aklimatisasi merupakan proses adaptasi makhluk hidup dengan lingkungan yang baru. Aklimatisasi dilakukan selama 8 hari agar eceng gondok terbiasa dengan lingkungan barunya. Selain itu waktu 8 hari ditetapkan agar mencapai kestabilan eceng gondok sehingga tidak terjadi fluktuasi dalam penyisihan parameter yang ditetapkan.

Pengoprasian reaktor dibagi menjadi 2 tahap. Untuk tahap pertama pengoprasian reaktor dilakukan selama 20 hari pada konsentrasi COD yang rendah. Sedangkan pada tahap kedua dilakukan selama 35 hari pada konsentrasi limbah yang tinggi. Pengoprasian reaktor dilakukan dalam 2 tahapan agar terlihat perbedaan kinerja reaktor dalam menyisihkan COD. Parameter utama yang akan diuji selama penelitian ini adalah kandungan COD dalam reaktor. Pengambilan sampel parameter pendukung yang diambil antara lain pH, suhu, DO, turbidity dan Ec akan diukur pada saat pengambilan sampel parameter utama selama penelitian berlangsung.

Tabel 5 Interval Waktu Sampling Parameter Utama dan Parameter Pendukung

Konsentrasi Air Limbah Rendah									
Hari ke	0	1	2	3	4	7	10	14	20
Konsentrasi Air Limbah Tinggi									
Hari ke	27	28	29	42	43	44	48	51	55

3.2.3 Pembuatan Air Limbah Sintetis

Air limbah sintetis adalah air limbah yang dibuat secara sengaja dengan menggunakan bahan kimia maupun organik sehingga dapat serupa dengan limbah asli. Oleh sebab itu diperlukan komposisi yang tepat untuk membuat air limbah sintetis ini. Adapun komposisi air limbah yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 6 Komposisi Air Limbah Sintetis pada Tahap 1 dan Tahap 2

No	Komposisi	Bahan	Jumlah	Satuan
Tahap 1				
1	0,722 gr KNO_3 + 2 ml CHCl_3 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrat 100 mg/l	1	Liter
2	1,232 gr NaNO_2 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrit 250 mg/l	1	Liter
3	3,819 gr NH_4Cl + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Amonia 1000 mg/l	0,25	Liter
4	2,195 gr KH_2PO_4 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Pospat 500 mg/l	0,1	Liter
5	20 gr $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ + 1000 ml Air	Air Gula 0,1 M	1	Liter
6		Detergen	10	Gram

7	Pupuk NPK	0,2	Liter
8	Air	96,45	Liter
Total Volume Reaktor		100	Liter
Tahap 2			
1	0,722 gr KNO_3 + 2 ml CHCl_3 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrat 100 mg/l	1,5 Liter
2	1,232 gr NaNO_2 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Nitrit 250 mg/l	1,5 Liter
3	3,819 gr NH_4Cl + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Amonia 1000 mg/l	0,35 Liter
4	2,195 gr KH_2PO_4 + 1000 ml Akuades	Larutan Induk Pospat 500 mg/l	0,15 Liter
5	30 gr $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ + 1000 ml Air	Air Gula 0,16 M	1 Liter
6		Detergen	15 Gram
7		Pupuk NPK	0,3 Liter
8		Air	15,2 Liter
Total Volume Reaktor		100	Liter

3.2.4 Pengukuran Parameter

Parameter yang diukur terbagi menjadi 2 yaitu parameter utama dan parameter pendukung. Parameter pendukung merupakan parameter yang berkaitan dengan parameter utama, sehingga parameter pendukung ini digunakan untuk memperkuat hasil yang didapatkan pada parameter utama. Sedangkan parameter utama merupakan tolak ukur dalam penelitian yang digunakan untuk menentukan berhasil atau tidaknya

penelitian yang dilakukan. Alat dan metode yang digunakan untuk mengukur kedua parameter tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 7 Alat dan Metode Pengujian Tiap Parameter

Parameter	Alat	SNI	Metode
Parameter	pH	pH Meter	SNI 06- 6989:11:2004
Pendukung	Suhu	Thermo- meter Digital	- Probe meter.
	Turbiditas	Turbidi- meter	SNI 06- 6989:25:2005
	Konduktivitas Elektronik	Kondukti- meter	SNI 06- 6989:1:2004
	DO	DO Meter	- Probe meter.
Parameter Utama	COD	Spektro- fotometer	SNI 6989:2:2009 Reduksi Cr ₂ O ₇ ²⁻ secara spektrofotometri.

3.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mendapatkan kadar nilai COD dengan menggunakan metode regresi linier sederhana. Regresi linear sederhana adalah metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel faktor penyebab (X) dengan variabel akibat (Y). Analisis regresi linier dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Y = a+bx \dots\dots\dots(2)$$

Dimana Y adalah variabel respon / akibat, X adalah variabel predictor / penyebab, a adalah konstanta dan b adalah koefisien regresi. Selanjutnya menggambar grafik dari

semua data yang didapatkan. Untuk persen penyisihan removal dilakukan dengan menggunakan rumus :

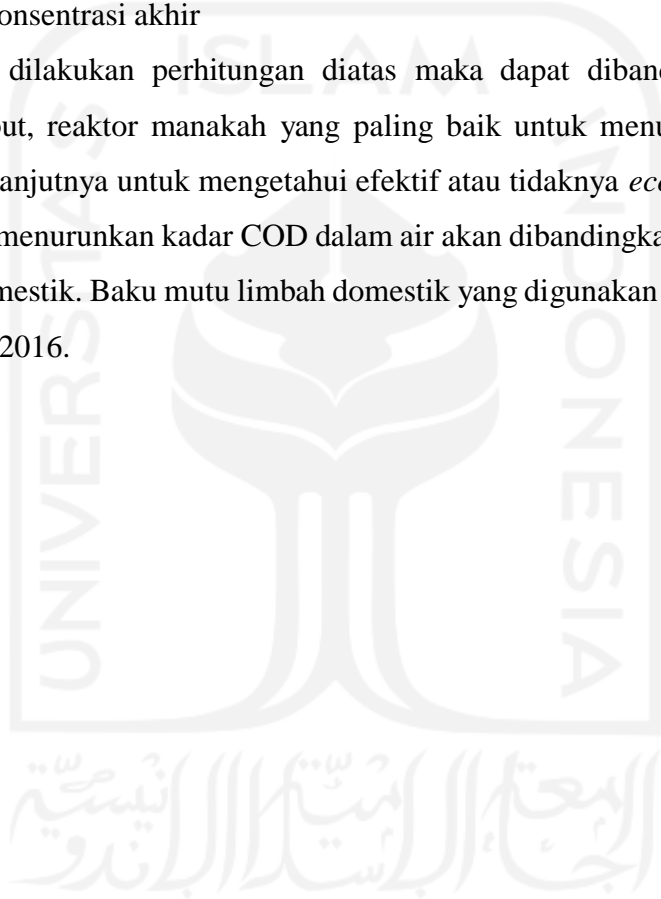
$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{Cin} - \text{Cout}}{\text{Cin}} \times 100 \%$$

Keterangan:

Cin = Konsentrasi awal

Cout = Konsentrasi akhir

Setelah dilakukan perhitungan diatas maka dapat dibandingkan dari ketiga reaktor tersebut, reaktor manakah yang paling baik untuk menurunkan kadar COD dalam air. Selanjutnya untuk mengetahui efektif atau tidaknya *ecological floating bed* (EFB) dalam menurunkan kadar COD dalam air akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik. Baku mutu limbah domestik yang digunakan adalah Permen LHK No 68 Tahun 2016.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Air Limbah

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berwujud cair. Pada awal penelitian direncanakan air limbah yang digunakan berasal dari parit belakang Kampus FTSP UII. Namun karena bertepatan dengan musim kemarau parit menjadi kering. Selanjutnya solusi yang diterapkan adalah dengan mengganti rencana dari yang awalnya menggunakan air limbah dari parit menjadi menggunakan air limbah sintetis. Air limbah sintetis adalah air limbah yang dibuat secara sengaja dengan menggunakan bahan kimia maupun organik sehingga dapat serupa dengan limbah asli. Oleh sebab itu diperlukan komposisi yang tepat untuk membuat air limbah sintetis ini. Dari komposisi pada tabel 6, maka didapatkan limbah sintetis dengan konsentrasi parameter utama adalah sebagai berikut :

Tabel 8 Perbandingan Konsentrasi Air Limbah Sintetis dan Standar Air Limbah *Greywater*

Parameter	Konsentrasi ¹			Baku Mutu Permean LHK No.68 Tahun 2016	Indonesia ²			
	Kontrol	EFB	EFB + Spons		Lab. Balai Lingkung Perumahan	Pudakota Surabaya	Ecotech Garden, Bandung	Bandung
COD (mg/L)	98,3	95,8	94,15	100	317	530 – 1220	184	189 - 1171

Sumber : 1. Konsentrasi air limbah sintetis; 2. *Greywater in Indonesia : Characteristic and Treatment System* (Mayrina et al., 2015)

Berdasarkan hasil pengujian konsentrasi awal, konsentrasi ketiga reaktor masih dibawah baku mutu. Oleh sebab itu pengujian dilakukan 2 tahap dimana pada tahap awal dengan konsentrasi rendah sedangkan pada tahap selanjutnya menggunakan konsentrasi tinggi. Selanjutnya akan dilihat dan dibandingkan performa ketiga reaktor dalam menyisihkan COD pada konsentrasi yang berbeda. Sedangkan untuk konsentrasi parameter pendukung hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 9 Konsentrasi Parameter Pendukung

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi		
			Kontrol	EFB	EFB + Spons
1	pH	-	7,5	7,33	7,27
2	Suhu	°C	26	26,2	2,9
3	Konduktivitas Listrik	µS/cm	0,896	0,939	0,835
4	DO	mg/L	1,2	1,7	2,2
5	Turbidity	NTU	2,32	3,58	3,11

4.2 Operasional Reaktor

Pada rencana awal penelitian tanaman yang digunakan adalah tanaman kangkung air. Kangkung air yang digunakan diperoleh dari lahan persawahan warga. Kondisi awal kangkung air ketika diambil masih dalam kondisi dimana daun berwarna hijau dan tidak layu. Sedangkan batang tanaman kangkung panjang serta padat. Hal ini mengindikasikan bahwa kangkung yang digunakan dalam keadaan sehat. Selanjutnya sebelum kangkung digunakan dilakukan terlebih dahulu aklimatisasi menggunakan campuran air limbah dan air bersih. Dilakukannya aklimatisasi bertujuan agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Akan tetapi ketika proses aklimatisasi berlangsung selama 5 hari tanaman kangkung mati. Matinya tanaman kangkung ditandai dengan warna daun yang menguning dan layu, batang tanaman yang

kering. Kematian tanaman kangkung dapat disebabkan karena perubahan kondisi lingkungan. Lingkungan awal hidup kangkung berada pada daerah persawahan dengan kondisi akar berada didalam tanah. Sedangkan pada kondisi lingkungan yang baru akar tanaman langsung kontak dengan air limbah tanpa adanya media tanah. Selain itu matinya tanaman kangkung juga dapat disebabkan oleh *shock loading*. *Shock loading* merupakan kondisi dimana lingkungan memiliki konsentrasi pencemar yang tinggi daripada biasanya sehingga menimbulkan beban kejut bagi tanaman. Maka dari itu kangkung air diganti dengan eceng gondok.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 7 (a) Proses Aklimatisasi Tanaman Kangkung Air; (b) Tanaman Kangkung Air yang Mati

Eceng gondok dipilih karena daya tahannya yang tinggi pada kondisi lingkungan perairan yang tercemar (Ratnani et al., 2011). Eceng gondok yang digunakan didapat dari Sungai Kuning. Eceng gondok dipilih dengan kondisi yang sehat. Hal ini ditandai dengan daun yang hijau serta batang yang tidak layu. Selanjutnya pengoperasian reaktor *ecological floating bed* diawali dengan aklimatisasi tanaman eceng gondok selama 8 hari. Aklimatisasi dilakukan agar tanaman mampu beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Selain itu aklimatisasi juga bertujuan agar tanaman tidak mengalami *shock loading*.



Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 8 Proses Aklimatisasi Tanaman Eceng Gondok.

Aklimatisasi pada tanaman eceng gondok dapat dikatakan berhasil karena selama masa aklimatisasi tanaman tidak ada yang mengalami kematian. Seiring berjalannya waktu terjadi perubahan pada tanaman eceng gondok seperti daun yang mulai menguning. Pada hari ke-10 ditemukan beberapa batang tanaman eceng gondok yang layu dan telah mulai membusuk dalam air.



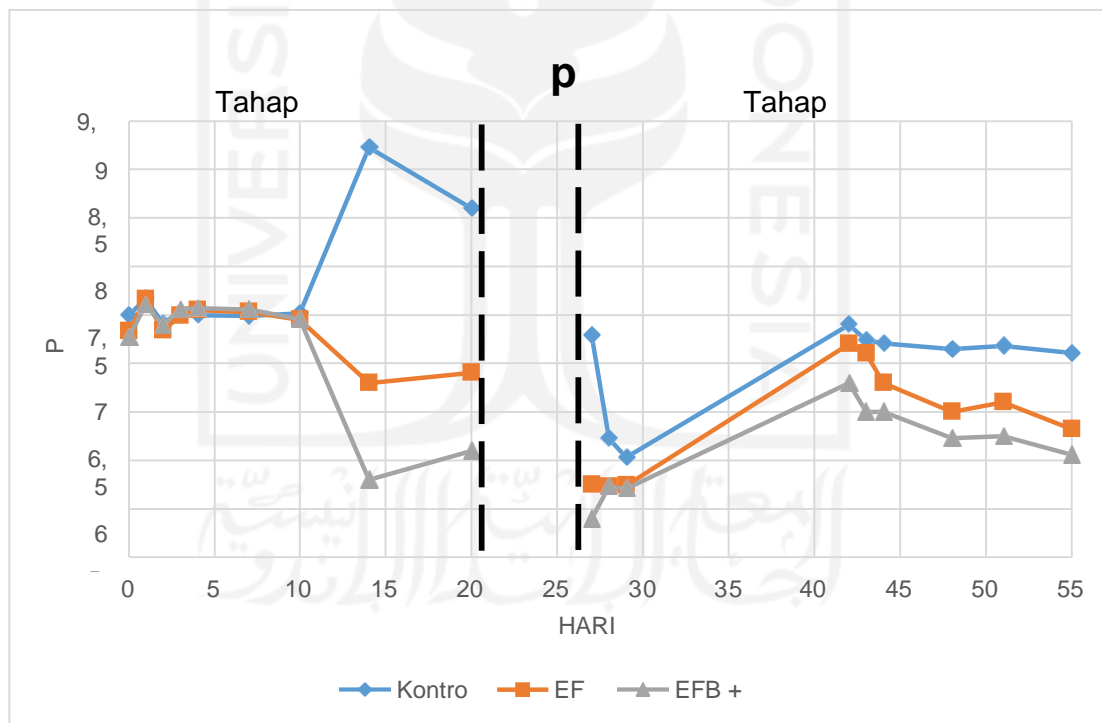
Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 9 Batang Tanaman Eceng Gondok yang Mengalami Pembusukan.

Untuk waktu tinggal reaktor selama 55 hari dengan interval sampling yang telah dijelaskan pada tabel 4. Selama waktu tinggal reaktor tersebut diukur juga parameter pendukung yang berupa parameter fisik. Parameter fisik yang diuji antara lain pH, suhu, DO, konduktivitas listirk, turbiditas.

4.2.1 Pengukuran pH

pH atau *potential of hydrogen* merupakan nilai yang menggambarkan tingkat derajat keasaman dari sebuah larutan, nilai pH digambarkan pada skala 0 – 14. Menurut Spellman (2003) tanaman dapat tumbuh dengan baik pada pH yang berkisar antara 6,0 – 8,0. Akan tetapi untuk proses degradasi senyawa organik pH yang optimal berkisar antara 7 – 8,5.



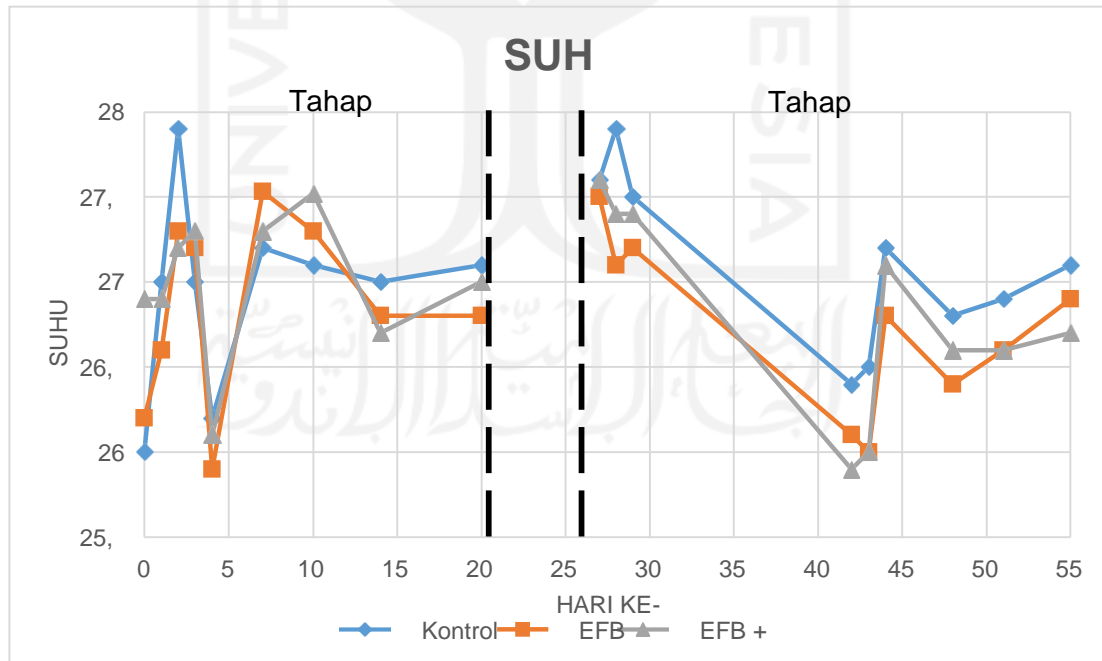
Gambar 10 Grafik Nilai pH Selama Penelitian.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada gambar 14, pada reaktor kontrol terjadi penurunan konsentrasi COD sebesar 172,5 mg/l di hari ke 42. Untuk pengukuran nilai pH pada hari tersebut adalah sebesar 7,4. Dimana pada pH di hari

tersebut masih dalam rentang pH optimum bagi tanaman untuk mendegradasi senyawa polutan organik. Selanjutnya pada reaktor EFB + Spons serta EFB + Spons pada gambar 14, menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi COD terbesar terjadi pada hari ke 29 dengan penurunan konsentrasi COD pada masing – masing reaktor sebesar 155 mg/l dan 162,5 mg/l. Pada hari tersebut pH yang terukur menunjukkan nilai 5,71 dan 5,74.

4.2.2 Pengukuran Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penunjang pertumbuhan tanaman. Menurut Zhen (2008) saat suhu tinggi maka metabolisme pertumbuhan tanaman akan meningkat, sehingga akan meningkatkan kemampuan penyerapan zat polutan. Namun menurut Zhao (2012) tiap tanaman memiliki suhu optimalnya masing masing sehingga suhu air yang hangat tidak selalu memberi dampak yang optimal bagi penurunan polutan.

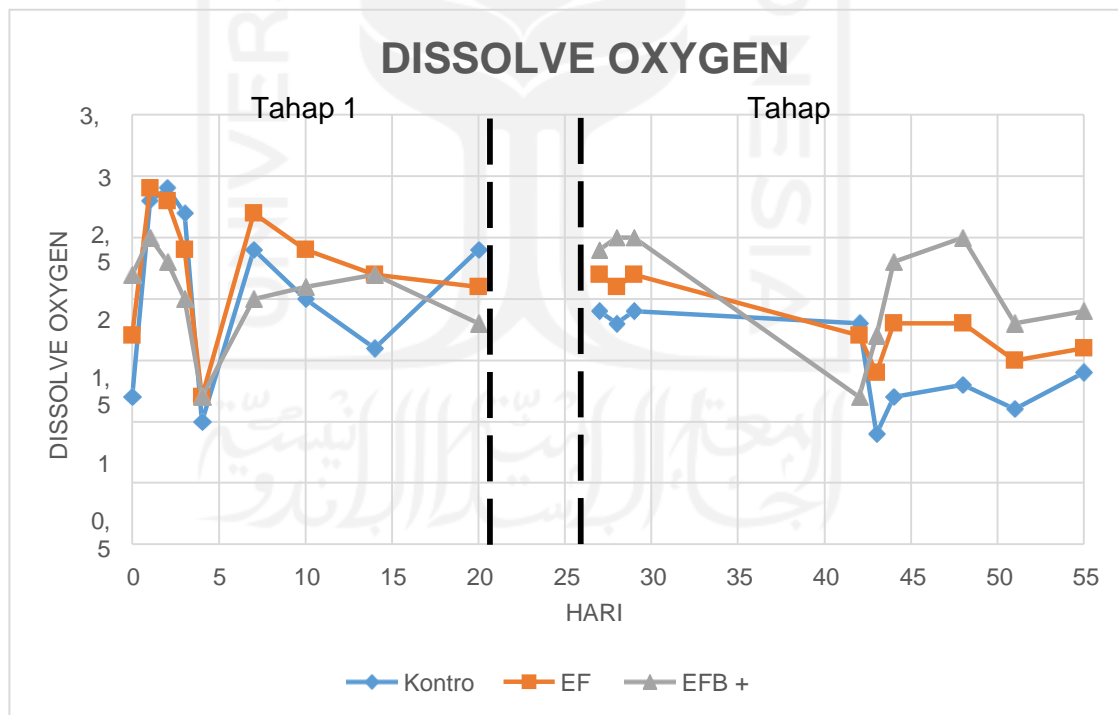


Gambar 11 Grafik Pengukuran Suhu Air Limbah Selama Penelitian.

Suhu yang optimal bagi eceng gondok berkisar antara 26 – 30 °C (Ratnani et al., 2011). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui suhu dalam reaktor cukup fluktuatif hal ini disebabkan oleh pengaruh cuaca disekitar lingkungan. Akan tetapi suhu selama penelitian berlangsung masih berada dalam rentang suhu yang optimal bagi eceng gondok. Suhu optimal bagi eceng gondok selama penelitian berada pada 27 °C. Pada gambar 14, dapat dilihat penyisihan COD terbesar berada di hari ke 29 dengan penurunan mencapai 155 mg/l dan 162,5 mg/l dimana suhu pada reaktor menunjukkan angka 27°C.

4.2.3 Pengukuran DO

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan nilai DO yang didapatkan rendah, seperti pada gambar dibawah ini.

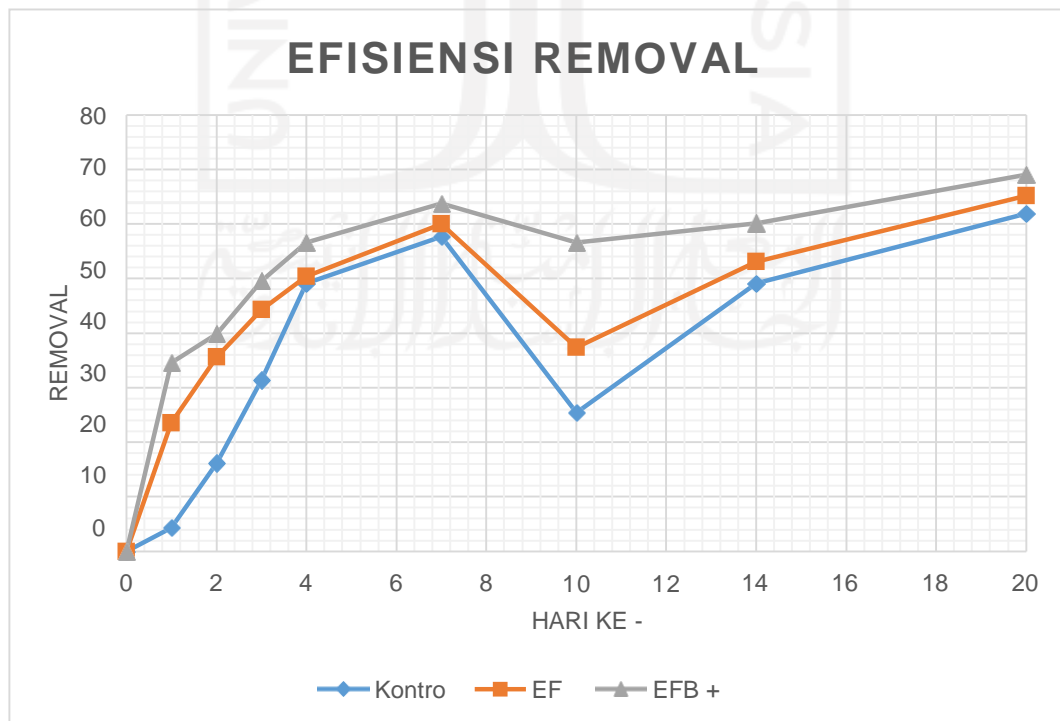


Gambar 12 Grafik Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO) Selama Penelitian. Gambar grafik diatas mengindikasikan bahwa kondisi DO air dalam akuarium sangat rendah. Hal ini dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rafika (2019)

dimana nilai DO air *greywater* dari kantin UII rata – rata adalah 13,23 mg/l, sedangkan nilai DO pada tiap reaktor dimana rata – rata nilai DO pada reaktor kontrol adalah 2,1 mg/l sedangkan pada reaktor EFB adalah 2,26 mg/l dan reaktor EFB + Kontrol adalah 2,03 mg/l. Kondisi perairan yang minim kandungan oksigen biasa disebut juga dengan kondisi anoksik. Kondisi ini menyebabkan mikroorganisme yang hidup dengan kondisi banyak oksigen akan mati. Akan tetapi karena adanya proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan sebagian akan dikeluarkan melalui akar maka mikroorganisme yang berada pada daerah perakaran akan mendapatkan oksigen. Hal ini didukung oleh Ali (2020) yang menyatakan bahwa tumbuhan air memiliki kemampuan untuk mengangkut gas seperti oksigen ke bawah menuju zona perakaran untuk memungkinkan lingkungan daerah perakarannya bertahan pada kondisi anoksik bahkan anaerobik.

4.3 Efisiensi Removal

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, maka didapatkan grafik efisiensi removal COD sebagai berikut :



Gambar 13 Grafik Efisiensi *Removal Chemical Oxygen Demand* (COD) Selama Penelitian.

Dari gambar 13 diatas dapat dilihat bahwa pengamatan awal hari ke- 1 pada reaktor kontrol hanya mampu menyisihkan konsentrasi COD dengan persentase penyisihan sebesar 4,23%. Terjadi perbedaan persentase yang cukup besar antara reaktor kontrol dan reaktor EFB. Pada reaktor EFB mampu menyisihkan konsentrasi COD dengan persentase penyisihan sebesar 23,47%. Selisih persentase antara reaktor kontrol dan EFB mencapai nilai sebesar 19,24%. Adanya perbedaan persentase penyisihan antara reaktor kontrol dan EFB menunjukkan bahwa adanya perlakuan yang berbeda pada reaktor EFB yaitu dengan penambahan *floating bed* dan tanaman eceng gondok mampu menyisihkan konsentrasi COD lebih baik dibandingkan reaktor kontrol yang tanpa adanya perlakuan sama sekali. Hal ini didukung juga oleh penelitian yang dilakukan oleh Raissa (2017) dimana pada reaktor dengan penambahan eceng gondok memiliki kemampuan penyisihan COD lebih baik dibandingkan dengan reaktor kontrol.

Selanjutnya pada reaktor EFB + Spons memiliki efek penyisihan yang lebih besar dibandingkan dengan kedua reaktor lainnya. Dibandingkan dengan reaktor kontrol dan EFB yang mampu menyisihkan konsentrasi COD masing – masing sebesar 4,23% dan 23,47% reaktor EFB + Spons mampu menyisihkan konsentrasi COD dengan persentase penyisihan mencapai 34,51% pada pengamatan awal hari pertama. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan kemampuan antara reaktor kontrol, EFB, dan EFB + Spons, dimana jika disandingkan maka jarak persentase penyisihan reaktor Kontrol dengan EFB + Spons mencapai 30,28%. Sedangkan jika disandingkan antara reaktor EFB dengan EFB + Spons selisih persentase penyisihan COD mencapai 11,04%. Maka dapat dikatakan bahwa pada pengamatan awal hari pertama reaktor EFB + Spons adalah reaktor dengan penyisihan COD terbesar dibandingkan dengan reaktor Kontrol dan EFB. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan pada daerah

perakaran eceng gondok dengan media *polyurethane* spons mampu memberikan efek penyisihan yang lebih baik. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Wang (2019) reaktor dengan penambahan media *polyurethane* spons mampu menyisihkan COD dengan persentase penyisihan sebesar 30% pada hari pertama.

Akan tetapi pada akhir penelitian didapatkan persentase penyisihan yang hampir sama pada ketiga reaktor. Pada reaktor kontrol persentase penyisihan COD mencapai 61,86% selama 20 hari. Selanjutnya pada reaktor EFB persentase penyisihan COD mencapai 65,21% selama 20 hari. Sedangkan pada reaktor EFB + Spons didapatkan penyisihan persentase sebesar 69,02% selama 20 hari. Oleh sebab itu dapat diartikan bahwa ketiga reaktor memiliki kinerja yang hampir sama dalam menyisihkan COD. Karena kinerja yang hampir sama pada tiap reaktor maka masih belum bisa ditarik kesimpulan reaktor manakah yang memiliki kinerja terbaik dalam menyisihkan COD. Oleh sebab dilakukan penambahan beban pengolahan yang selanjutnya disebut dengan tahap 2. Dengan adanya penambahan beban pengolahan diharapkan dapat terlihat perbedaan yang besar pada ketiga reaktor dalam menyisihkan COD, sehingga dapat ditarik kesimpulan reaktor manakah yang memiliki kinerja yang paling efektif.

4.4 Efek Beban Pengolahan

4.4.1 Penambahan Konsentrasi

Pada perbandingan efisiensi *removal* di tahap 1 hasil yang didapatkan pada semua reaktor hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah ketiga reaktor memiliki kemampuan menyisihkan COD yang hampir sama. Oleh sebab itu dilakukan penambahan larutan pada hari ke – 27 dan dianggap sebagai tahap 2. Hal ini dilakukan agar dapat terlihat perbedaan tiap reaktor dalam menyisihkan COD, sehingga dapat ditarik kesimpulan reaktor manakan yang memiliki kinerja yang paling efektif untuk menyisihkan COD. Dengan adanya penambahan tersebut maka didapatkan konsentrasi pada tiap reaktor adalah sebagai berikut :

Tabel 10 Konsentrasi Parameter Utama Tahap 2

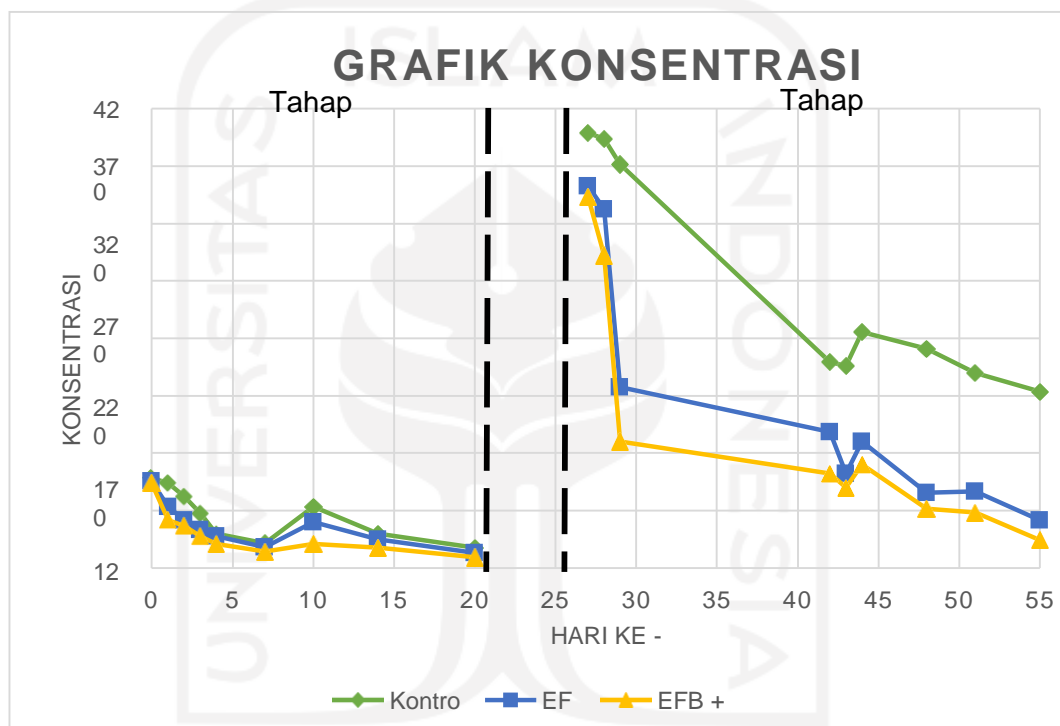
Parameter	Kontrol	EFB	EFB + Spons
Tahap 1			
COD	98,33 mg/l	95,83 mg/l	94,15 mg/l
Tahap 2			
COD	399,16 mg/l	352 mg/l	343,33 mg/l

Adanya perbedaan konsentrasi COD pada tahap 1 dan tahap 2 dikarenakan adanya penambahan beban pada tiap reaktor tanpa dikuras terlebih dahulu sehingga terjadi akumulasi saat penambahan bahan baku air limbah pada tahap 2. Komposisi bahan baku pembuatan air limbah sintetis yang ditambahkan juga berbeda antara tahap 1 dan tahap 2 seperti pada tabel 6 oleh sebab itu pada tiap reaktor memiliki komposisi yang berbeda.

4.4.2 Analisa Parameter COD

Berdasarkan gambar 14 dibawah, konsentrasi awal pada tahap 2 ini berbeda – beda. Hal ini dikarenakan air limbah pada tahap 1 tidak dibuang melainkan ditambah. Selain itu konsentrasi pada tiap reaktor pada hari terakhir pengukuran juga berbeda beda. Sehingga ketika ditambahkan larutan konsentrasi yang didapatkan pada tiap reaktor juga berbeda. Terjadi penurunan konsentrasi COD yang besar di reaktor kontrol pada hari ke 42 sebesar 172,5 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 371,66 mg/l menjadi 199,16 mg/l . Sedangkan pada reaktor EFB penurunan konsentrasi COD terbesar terjadi di hari ke 29 dengan penurunan sebesar 155 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 332,5 mg/l menjadi 177,5 mg/l. Selanjutnya pada reaktor EFB + Spons penurunan konsentrasi COD terbesar terjadi di hari ke 29 dengan penurunan konsentrasi sebesar 162,5 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 292,5 mg/l menjadi 130 mg/l. Perbedaan hari pada reaktor kontrol dengan reaktor EFB dan EFB + Spons mengindikasikan bahwa dengan adanya tanaman eceng gondok mampu menurunkan konsentrasi COD lebih cepat dibandingkan dengan reaktor tanpa adanya perlakuan/kontrol. Hal ini didukung

oleh penelitian yang dilakukan oleh Raissa (2017) dimana pada reaktor dengan penambahan eceng gondok dan reaktor dengan penambahan kayu apu mampu menurunkan konsentrasi COD lebih cepat dibandingkan dengan reaktor tanpa perlakuan.



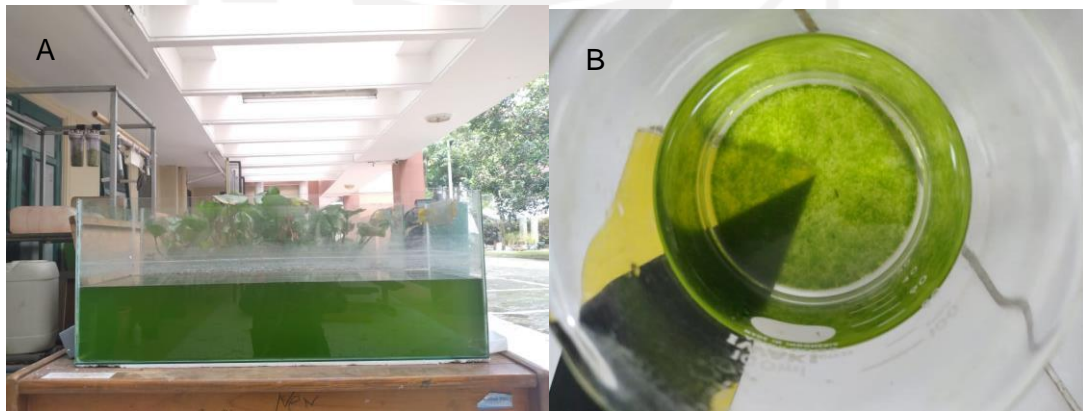
Gambar 14 Perbandingan Penyisihan *Chemical Oxygen Deman* (COD) Tahap 1 dan Tahap 2.

Selanjutnya pada hari ke 44 ketiga reaktor mengalami peningkatan konsentrasi COD seperti yang ditunjukkan dalam gambar 14 diatas. Pada reaktor kontrol mengalami peningkatan COD sebesar 30 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 195,83 mg/l menjadi 225,83 mg/l. Selanjutnya reaktor EFB mengalami peningkatan COD sebesar 27,5 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 102,5 mg/l menjadi 130 mg/l. Sedangkan reaktor EFB + Spons mengalami peningkatan konsentrasi COD sebesar 20 mg/l dari konsentrasi awal sebesar 90 mg/l menjadi 110 mg/l.

Penurunan konsentrasi yang terjadi pada tahap 1 maupun tahap 2 pada reaktor kontrol diakibatkan adanya simbiosis antara alga dengan mikroorganisme. Perairan dengan nutrient yang banyak serta terpapar oleh sinar matahari merupakan habitat yang ideal bagi alga untuk hidup (Istirokhatun et al., 2017). Selain adanya kandungan nutrient dalam air serta ketersediaan cahaya matahari, pH dalam air juga berpengaruh agar alga dapat hidup dengan baik. Menurut Ali (2013). Penurunan konsentrasi COD disebabkan oleh proses fotosintesis pada alga.. Fotosintesis yang dilakukan oleh alga akan menghasilkan oksigen dan gula dengan persamaan kimia sebagai berikut :



Oksigen yang dihasilkan oleh alga menjadi sumber oksigen bagi mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik menjadi lebih sederhana, sehingga dapat diserap oleh alga. (Oktavia et al., 2013).



Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 15 (a) Alga *Blooming* pada Reaktor Kontrol; (b) Sampel Alga yang Mengendap didalam Gelas Beker.

Sedangkan adanya peningkatan konsentrasi pada reaktor kontrol pada tahap 1 dan tahap 2 diakibatkan adanya kematian alga didalam reaktor. Ini dapat diakibatkan oleh fase hidup alga itu sendiri. Ketika alga memasuki fase stationer maka akan terjadi penurunan pertumbuhan dan laju reproduksi alga. Kemudian alga akan memasuki fase kematian (Ali, 2013). Alga yang mati dan kemudian membusuk akan meningkatkan

konsentrasi COD dalam air limbah. Hal ini didukung oleh Puspitasari (2014) alga yang mengalami kematian akan membusuk didalam air sehingga akan meningkatkan kandungan bahan organik dalam air yang berarti kandungan COD juga akan meningkat seiring meningkatnya kandungan bahan organik.

Pada reaktor EFB terjadinya penurunan konsentrasi COD terjadi akibat adanya simbiosis antara eceng gondok dan mikroorganismenya pada daerah perakaran tanaman. Menurut Abed (2017) fotosintesis oleh tanaman akan menghasilkan oksigen dimana oksigen tersebut sebagian akan dilepaskan melalui akar. Oksigen yang dilepaskan melalui akar akan memicu pertumbuhan mikroorganismenya. Selanjutnya bahan organik sebagian akan dikonsumsi oleh mikroorganismenya dan sebagian akan diurai menjadi lebih sederhana dan diserap oleh tanaman sehingga akan menurunkan konsentrasi COD dalam air. Selain mengalami penurunan konsentrasi COD, reaktor EFB juga mengalami peningkatan konsentrasi COD ini disebabkan oleh adanya beberapa batang dari tanaman eceng gondok layu dan membusuk dalam air. Pembusukan tersebut akan meningkatkan kandungan bahan organik dalam air, sehingga kandungan COD juga akan meningkat.

Sedangkan pada reaktor EFB + Spons penurunan konsentrasi COD juga disebabkan oleh simbiosis antara tanaman dengan mikroorganismenya. Akan tetapi adanya penambahan spons pada daerah perakaran mengakibatkan persebaran mikroorganismenya tidak hanya pada daerah perakaran melainkan juga pada spons. Menurut Jiang (2013) porositas pada *polyurethane* spons dapat dimanfaatkan sebagai rumah bagi mikroba. Adanya persebaran mikroorganismenya pada daerah perakaran dan spons mampu memberikan efek lebih dalam menurunkan COD dibandingkan dengan kedua reaktor yang lain.

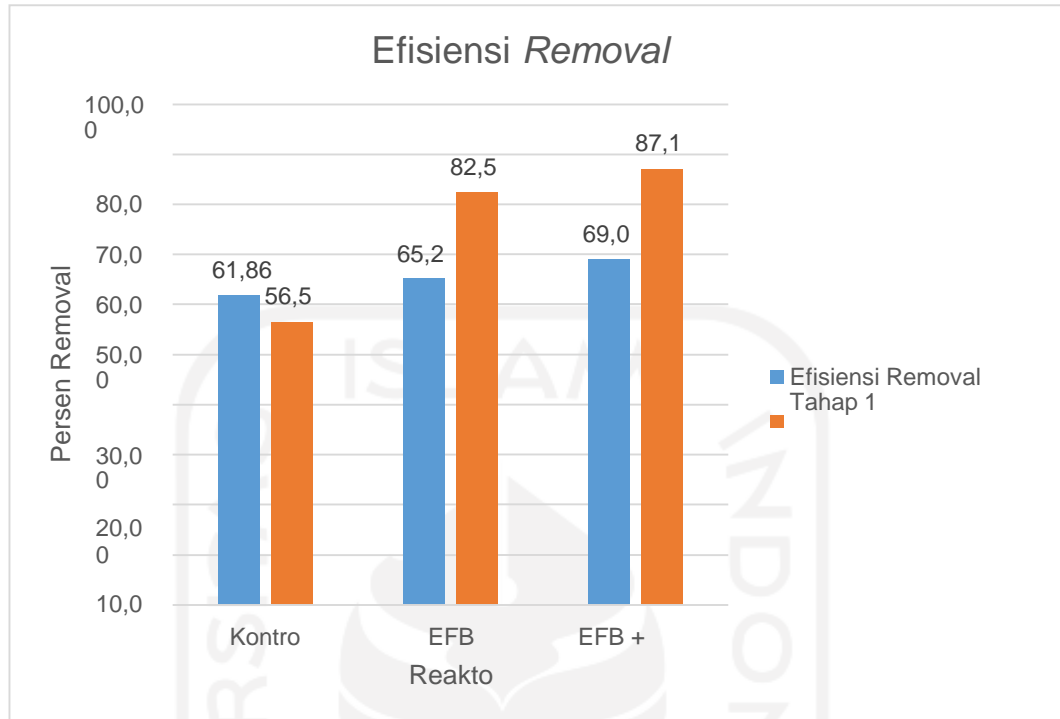


Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 16 Penambahan Media Penyangga *Polyurethane* Spons pada Reaktor EFB + Spons di Daerah Perakaran Tanaman Eceng Gondok.

4.4.3 Perbandingan Kemampuan Tiap Reaktor Dalam Menyisihkan COD

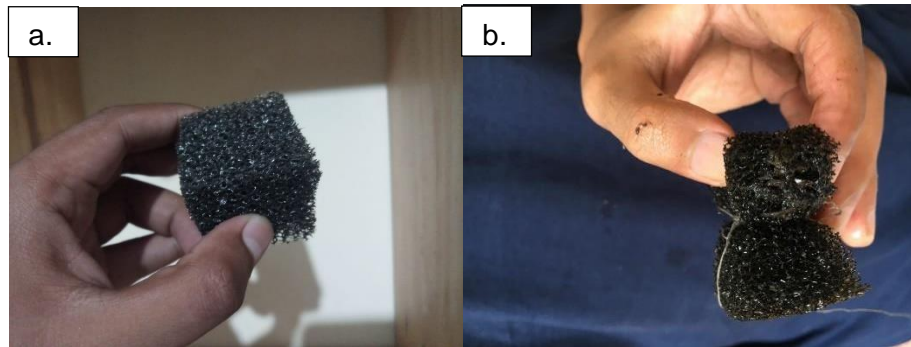
Berdasarkan gambar 17, adanya penambahan konsentrasi berpengaruh pada persentase penyisihan tiap reaktor. Pada tahap pertama dapat dikatakan bahwa tiap reaktor memiliki kinerja yang hampir sama. Hal ini ditunjukkan pada persentase penyisihan COD pada reaktor kontrol sebesar 61,86%. Sedangkan pada reaktor EFB persentase penyisihan COD sebesar 65,22%. Selanjutnya pada reaktor EFB + Spons besar persentase penyisihan mencapai 69,03%.



Gambar 17 Perbandingan Efisiensi *Removal* Tahap 1 dan Tahap 2 pada Tiap Reaktor.

Sedangkan pada pengujian tahap kedua menunjukkan adanya perbedaan pada tiap reaktor. Perbedaan terlihat jelas pada reaktor kontrol dimana pada pengujian tahap 2 ini reaktor kontrol hanya mampu menyisihkan COD sebesar 56,53%. Sedangkan pada reaktor EFB persentase penyisihan removal sebesar 82,51%. Selanjutnya pada reaktor EFB + Spon mampu menyisihkan COD dengan persentase sebesar 87,14%.

Adanya perbedaan persentase penyisihan COD pada reaktor EFB dengan reaktor EFB + spons mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan media spons mampu meningkatkan kinerja reaktor dalam menyisihkan COD. Menurut Lin,(2010) *polyurethane* spons merupakan media yang efektif untuk pembentukan serta keterikatan biomassa karena porositasnya yang tinggi, permukaan yang kasar dan adhesi yang baik. Oleh sebab itu *polyurethane* merupakan media pertumbuhan yang ideal bagi mikroorganisme.



Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Gambar 18 (a) *Polyurethane* Spons Sebelum Digunakan; (b) Spons Setelah Digunakan

Sedangkan menurut Wang (2019) semakin lama waktu tinggal spons maka mikroorganisme akan tersebar keseluruhan area permukaan spons. Akibatnya terjadi penyebaran mikroorganisme pada area akar serta pada media spons. Menurut Fachrurozi (2014) penyisihan bahan organik dalam air pada umumnya dipengaruhi oleh kecepatan mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik, jumlah dan keadaan mikroorganisme itu sendiri. Pada reaktor EFB persebaran mikroorganisme hanya terfokus pada daerah perakaran. Sedangkan pada reaktor EFB + Spons mikroorganisme akan menyebar pada daerah perakaran dan spon. Dengan begitu adanya persebaran mikroorganisme pada area perakaran dan spons akan meningkatkan kinerja reaktor dalam penyisihan COD dibandingkan dengan reaktor tanpa media spons.

Dikarenakan pada tahap 1 konsentrasi COD pada ketiga reaktor dibawah baku mutu Permen LHK No.68 Tahun 2016 maka tidak bisa menilai efektif atau tidaknya kerja reaktor pada tahap 1. Maka dari digunakan tahap kedua sebagai tolak ukur efektif atau tidaknya reaktor dalam menurunkan COD. Berdasarkan gambar 18, efisiensi *removal* pada reaktor kontrol mencapai 56,53 % dengan sisa konsentrasi mencapai 173,5 mg/l. Selanjutnya pada reaktor EFB efisiensi *removal* mencapai 82,51 % dengan sisa konsentrasi mencapai 61,66 mg/l. Sedangkan pada reaktor EFB + Spons

efisiensi *removal* sebesar 87,14 % dengan sisa konsentrasi mencapai 44,16 mg/l. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa reaktor EFB dan reaktor EFB + Spons bekerja secara efektif. Hal ini dibuktikan dengan sisa konsentrasi COD yang ada dalam kedua reaktor dibawah baku mutu yang ditetapkan yaitu sebesar 100 mg/l. Akan tetapi reaktor EFB + Spons lebih efektif dalam menyisihkan COD dibandingkan dengan reaktor EFB.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa reaktor EFB mampu menurunkan konsentrasi COD dibandingkan dengan kontrol. Adanya penambahan media spons dapat meningkatkan kinerja reaktor dalam menyisihkan konsentrasi COD dibandingkan dengan reaktor EFB konvensional dengan efisiensi removal COD sebesar 60,03 % pada tahap 1 dan 87,14 % pada tahap 2.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait penelitian ini adalah

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terkait penggunaan spons jenis lain sebagai media dalam mereduksi polutan dalam air secara optimal dengan teknologi *ecological floating bed*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terutama dalam pengaplikasian reaktor *ecological floating bed* di lingkungan air yang tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, S.N., Almuktar, S.A., Scholz, M., 2017. Remediation of synthetic greywater in mesocosm—Scale floating treatment wetlands. *Ecol. Eng.* 102, 303–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.043>
- Ajayi, T.O., Ogunbayio, A.O., 2012. Achieving Environmental Sustainability in Wastewater Treatment by Phytoremediation with Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*). *J. Sustain. Dev.* 5, 80–90. <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n7p80>
- Ali, M., 2013. Degradasi Nitrat Limbah Domestik Dengan Alga Hijau (*Chlorella Sp*). *Upn veteran jatim* 49.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I.E., Yavas, I., Ünay, A., Abdel-Daim, M.M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., Kalderis, D., 2020. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustain.* 12, 1–33. <https://doi.org/10.3390/su12051927>
- Chang, N. Bin, Xuan, Z., Marimon, Z., Islam, K., Wanielista, M.P., 2013. Exploring hydrobiogeochemical processes of floating treatment wetlands in a subtropical stormwater wet detention pond. *Ecol. Eng.* 54, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.019>
- Chen, Y., Zhang, Yong, Huang, M., Zhang, Yifan, Zhao, F., Luo, J., 2012. Ecological restoration by a multistage floating-bed system in a eutrophic urban river, China. *Appl. Mech. Mater.* 157–158, 945–949. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.157-158.945>
- Coveney, M.F., Stites, D.L., Lowe, E.F., Battoe, L.E., Conrow, R., 2002. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration. *Ecol. Eng.* 19, 141–159. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00037-X)
- Deng, Y., Ni, F., 2013. Review of Ecological Floating Bed Restoration in Polluted Water. *J. Water Resour. Prot.* 05, 1203–1209. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.512128>
- Eddy Afrianto, dkk, 2008. Pengawasan Mutu Bahan / Produk Pangan.

- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4, 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Fachrurozi, M., Utami, L.B., Suryani, D., 2014. Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes* L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman. *J. Kesehat. Masy. (Journal Public Heal.* 4, 1–16. <https://doi.org/10.12928/kesmas.v4i1.1100>
- Firdayati, M., Indiyani, A., Prihandrijanti, M., Otterpohl, R., 2015. Greywater in Indonesia: Characteristic and Treatment Systems. *J. Teh. Lingkung.* 21, 98–114. <https://doi.org/10.5614/jtl.2015.21.2.1>
- G, Y., C, J., W, X., X, Q., 2000. Relationship Between The Physiological Characters and Purification Ability of Different Plants in Water With Two Trophic Levels. *Acta Ecol. Sin.* 20, 1050–1055.
- Gerbono, A., Djarijah, A.S., 2005. *Kerajinan Eceng Gondok*. Kanisius, Yogyakarta.
- Headley, T.R., Tanner, C.C., 2012. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: An innovative stormwater treatment technology. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 42, 2261–2310. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574108>
- Istirokhatun, T., Aulia, M., Utomo, S., 2017. Potensi *Chlorella* Sp. untuk Menyisihkan COD dan Nitrat dalam Limbah Cair Tahu. *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.* 14, 88. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v14i2.88-96>
- J. F, Z., G. Y, L., X. Y, X., 2008. Purification of Heavily Polluted River Water by Ecological Floating Bed at Low Temperatures. *China Water & Wastewater* 24, 17–20.
- Jiang, G., Hu, R., Xi, X., Wang, X., Wang, R., 2013. Facile preparation of superhydrophobic and superoleophilic sponge for fast removal of oils from water surface. *J. Mater. Res.* 28, 651–656. <https://doi.org/10.1557/jmr.2012.410>
- Kyambadde, J., Kansime, F., Gumaelius, L., Dalhammar, G., 2004. A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed

- wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. *Water Res.* 38, 475–485.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.008>
- L. E. B., Francis, D., J. de Voogd, N., 2013. Sponge Species Composition, Abundance, and Cover in Marine Lakes and Coastal Mangroves in Berau Indonesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 105–120.
- Li-ming, W., Hai-bing, C., Xia-fang, W., Qing-lin, Z., 2010. Effect of Three Kinds of Floating-bed Plants and Artificial Plants on Nitrogen and Phosphorus Removal in Water.
- Li, M., Wu, Y.J., Yu, Z.L., Sheng, G.P., Yu, H.Q., 2007. Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) with ion implantation. *Water Res.* 41, 3152–3158.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.010>
- Li, X.N., Song, H.L., Li, W., Lu, X.W., Nishimura, O., 2010. An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water. *Ecol. Eng.* 36, 382–390.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.004>
- Lin, Y.H., 2010. Modeling the performance of biodegradation of textile wastewater using polyurethane foam sponge cube as a supporting medium. *Water Sci. Technol.* 62, 2801–2810. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.071>
- Lina Warlina, 2004. Pencemaran Air: Sumber, Dampak dan Penanggulangannya. *J. Pencemaran Air* 2, 1–7.
- Meita Sari, S.D., Budiarsa Suyasa, W., Mahardika, I.G., 2016. Pemanfaatan Biosistem Tanaman Untuk Menurunkan Kadar Fenol, Amonia, Ion Klorida, Dan Cod Dari Proses Biodegradasi Air Limbah Yang Mengandung Rhodamin B. *ECOTROPHIC J. Ilmu Lingkung.* (Journal Environ. Sci. 10, 1.
<https://doi.org/10.24843/ejes.2016.v10.i01.p01>
- Morel, A., Diener, S., 2006. Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods.

- Nakamura, K., Shimatani, Y., 1997. Water purification and environmental enhancement by artificial floating island. 6th IAWQ Asia-Pacific Reg. Conf. 888–895.
- Nelwan, F., Sugiana, K., Kalamulyan, B., 2003. Kajian Program Pengelolaan Air Limbah Perkotaan Studi Kasus Pengelolaan IPAL Margasari Balikpapan.
- Nicholson, Thornberry, 1997. Caspases: Killer Proteases. *Trend Biochem* 22, 299–306.
- Noor Kumalasari, 2005. Penurunan Konsentrasi Cn dan TSS Menggunakan Sistem Wetland Dengan Tanaman Kangkung.
- Nusa Idaman Said, 2007. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Erlangga, Jakarta.
- Oktavia, I., Junaidi, Samudro, G., 2013. Pengaruh pH dan Nutrisi Kalium Terhadap Penyisihan Parameter Total N dan Total P Pada Remediasi Air Rawa Pening Menggunakan Mikroalga.
- Purnomo, A., Khairina, N., 2016. Planning of Decentralised Wastewater Treatment in RW 9 Genteng Subdistrict, Surabaya City. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 227, 791–798. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.147>
- Puspitasari, D., 2014. Efek Durasi Pencahayaan Pada Sistem HRAR Untuk Menurunkan Kandungan Minyak Pada Limbah. *Tek. Lingkungan*.
- Rafika Rahman, A., 2019. Oxidation Ditch Alga Reactor (ODAR) Dalam Pengolahan Zat Organik Limbah Greywater. <https://doi.org/10.31227/osf.io/n4f68>
- Raissa, D.G., 2017. Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*).
- Ratnani, R., Hartati, I., Kurniasari, L., 2011. Pemanfaatan Eceng Gondok Untuk Menurunkan Kandungan COD, pH, Bau, Dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. *J. Momentum UNWAHAS* 7, 113323.
- Rinaldi, D., 2019. Unjuk Kerja Reaktor Continous Wetland Menggunakan Tanaman Vetiver (*Vetivera zizanioides*) & Bakteri Untuk Mendegradasi Kandungan Ammonia, BOD (Biological Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen

Demand) Dari Limbah di Industri X Yogyakarta.

- Samal, K., Kar, S., Trivedi, S., 2019. Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance. *J. Environ. Manage.* 251, 109550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109550>
- Santoso, A., 2015. Perencanaan Pengolahan Air Limbah Media Biofilter (Studi Kasus: Kejawan Gebang Kelurahan Keputih Surabaya) Treatment Planning With Alternative Biofilter Media (Case Study: Kejawan Gebang Kelurahan Keputih Surabaya).
- Sheng, Y., Qu, Y., Ding, C., Sun, Q., Mortimer, R.J.G., 2013. A combined application of different engineering and biological techniques to remediate a heavily polluted river. *Ecol. Eng.* 57, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.004>
- Spellman, F.R., Frank, R., 2003. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Sugiharto, 2008. Dasar - dasar Pengelolaan Air Limbah. UI Press, Jakarta.
- Wa Atima, 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Biol. Sci. Educ.* 4, 99–111.
- Wang, W.H., Wang, Y., Li, Z., Wei, C.Z., Zhao, J.C., Sun, L. qin, 2018. Effect of a strengthened ecological floating bed on the purification of urban landscape water supplied with reclaimed water. *Sci. Total Environ.* 622–623, 1630–1639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.035>
- Wang, W.H., Wang, Y., Sun, L.Q., Zheng, Y.C., Zhao, J.C., 2020. Research and application status of ecological floating bed in eutrophic landscape water restoration. *Sci. Total Environ.* 704, 135434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135434>
- Wang, Y., Yin, X., Cai, Y., Yang, Z., 2019. An enhanced system with macrophytes and polyurethane sponge as an eco-technology for restoring eutrophic water: A pilot test. *Water (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/w11091828>
- Wu, Q., Hu, Y., Li, S., Peng, S., Zhao, H., 2016. Microbial mechanisms of using enhanced ecological floating beds for eutrophic water improvement. *Bioresour.*

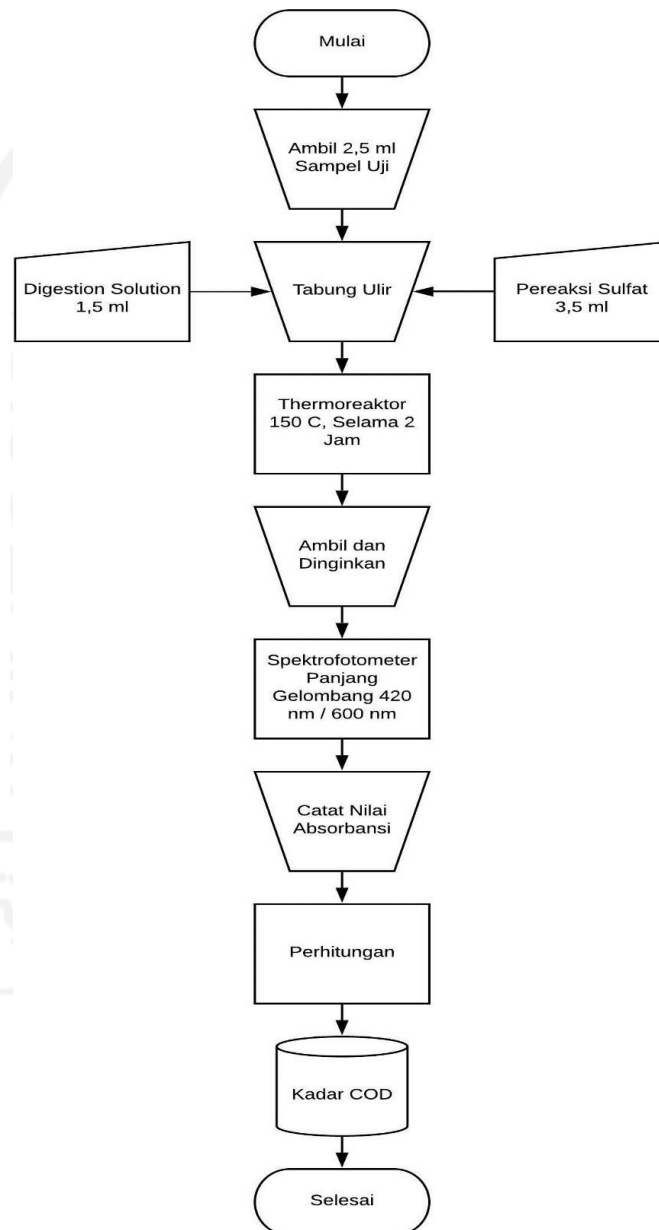
- Technol. 211, 451–456. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.113>
- X. R. M., J. B. Z., 2011. Research on Water Water Quality Purification Capacity of Several Species of Aquatic Plants Commonly Used by Ecological Floating Bed. *Agric. Sci.* 1, 157–159.
- Xu, X., Luo, G., Zheng, J., Han, L., 2010. Purification of pollutants by ecological floating-bed process for heavily polluted river. 2010 4th Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng. iCBBE 2010 8–11. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5515612>
- Yulastuti, E., 2011. Kajian Kualitas Air Sungai Ngringo Karanganyar dalam upaya Pengendalian Pencemaran Air 127.
- Zhang, L., Xu, L., Sun, Y., Yang, N., 2016. Robust and Durable Superhydrophobic Polyurethane Sponge for Oil/Water Separation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 55, 11260–11268. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02897>
- Zhang, L., Zhang, Z., Wang, P., 2012. Smart surfaces with switchable superoleophilicity and superoleophobicity in aqueous media: Toward controllable oil/water separation. *NPG Asia Mater.* 4, e8-8. <https://doi.org/10.1038/am.2012.14>
- Zhao, F., Xi, S., Yang, X., Yang, W., Li, J., Gu, B., He, Z., 2012. Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecol. Eng.* 40, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.012>



“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram Alir Pengujian COD



Lampiran 2 Hasil Pengujian Parameter Utama COD

KONSENTRASI COD					
No	Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	EFB +Spons
TAHAP 1					
1	12-Oct-20	0	98,33	95,83	94,16
2	13-Oct-20	1	94,16	73,33	61,66
3	14-Oct-20	2	82,5	61,66	56,66
4	15-Oct-20	3	67,5	53,33	47,5
5	16-Oct-20	4	50	47,5	40,83
6	19-Oct-20	7	41,66	38,33	34,16
7	22-Oct-20	10	73,33	60	40,83
8	26-Oct-20	14	50	45	37,5
9	02-Nov-20	20	37,5	33,33	29,16
TAHAP 2					
10	09-Nov-20	27	399,16	352,5	343,33
11	10-Nov-20	28	394,16	332,5	292,5
12	11-Nov-20	29	371,66	177,5	130
13	24-Nov-20	42	199,16	138,33	10,5
14	25-Nov-20	43	195,83	102,5	90
15	26-Nov-20	44	225,83	130	110
16	30-Nov-20	48	210,83	85,83	71,66
17	03-Dec-20	51	190	86,66	68,33
18	07-Dec-20	55	173,5	61,66	44,16

Lampiran 3 Hasil Pengujian Parameter Pendukung

Suhu				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
TAHAP 1				
12/10/2020	0	26	26,2	26,9
13/10/2020	1	27	26,6	26,9
14/10/2020	2	27,9	27,3	27,2
15/10/2020	3	27	27,2	27,3
16/10/2020	4	26,2	25,9	26,1
19/10/2020	7	27,2	27,53	27,3
22/10/2020	10	27,1	27,3	27,52
26/10/2020	14	27	26,8	26,7

02/11/2020	20	27,1	26,8	27
TAHAP 2				
09/11/2020	27	27,6	27,5	27,6
10/11/2020	28	27,9	27,1	27,4
11/11/2020	29	27,5	27,2	27,4
24/11/2020	42	26,4	26,1	25,9
25/11/2020	43	26,5	26	26
26/11/2020	44	27,2	26,8	27,1
30/11/2020	48	26,8	26,4	26,6
03/12/2020	51	26,9	26,6	26,6
07/12/2020	55	27,1	26,9	26,7

Ph				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
TAHAP 1				
12/10/2020	0	7,5	7,33	7,27
13/10/2020	1	7,67	7,66	7,6
14/10/2020	2	7,41	7,34	7,39
15/10/2020	3	7,53	7,49	7,56
16/10/2020	4	7,5	7,55	7,57
19/10/2020	7	7,49	7,53	7,56
22/10/2020	10	7,52	7,45	7,46
26/10/2020	14	9,23	6,8	5,8
02/11/2020	20	8,6	6,9	6,1
TAHAP 2				
09/11/2020	27	7,29	5,75	5,4
10/11/2020	28	6,22	5,73	5,73
11/11/2020	29	6,03	5,74	5,71
24/11/2020	42	7,4	7,2	6,8
25/11/2020	43	7,24	7,1	6,5
26/11/2020	44	7,21	6,8	6,5
30/11/2020	48	7,15	6,5	6,23
03/12/2020	51	7,18	6,6	6,25
07/12/2020	55	7,11	6,32	6,06
Turbidity				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS

TAHAP 1				
12/10/2020	0	2,32	3,58	3,11
13/10/2020	1	2,66	2,98	2,67
14/10/2020	2	2,78	2,49	0,41
15/10/2020	3	6,54	8,51	2,57
16/10/2020	4	8,7	0,96	0
19/10/2020	7	8,01	6,54	2,57
22/10/2020	10	22,25	3,72	2,09
26/10/2020	14	44,12	1,64	0,95
02/11/2020	20	24,6	1,6	1,2
TAHAP 2				
09/11/2020	27	64	38,7	18,95
10/11/2020	28	90	20,74	6,87
11/11/2020	29	74,42	9,52	2,95
24/11/2020	42	53	1,48	1,04
25/11/2020	43	51	1,51	1,01
26/11/2020	44	38,51	1,33	0,94
30/11/2020	48	19,44	1,07	0,53
03/12/2020	51	17,21	0,83	0,41
07/12/2020	55	14,57	1,12	1,03

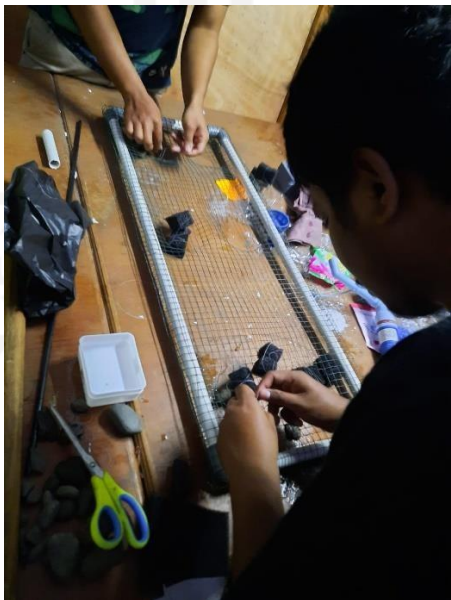
Electrical Conductivity				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
TAHAP 1				
12/10/2020	0	0,896	0,939	0,835
13/10/2020	1	0,612	0,937	0,909
14/10/2020	2	0,927	1,004	0,922
15/10/2020	3	1,001	0,925	0,915
16/10/2020	4	0,752	0,934	0,828
19/10/2020	7	0,925	1,001	0,915
22/10/2020	10	0,926	0,946	0,919
26/10/2020	14	0,972	0,956	0,933
02/11/2020	20	0,964	0,966	0,925
TAHAP 2				
09/11/2020	27	1,755	1,918	1,755
10/11/2020	28	1,61	2,12	1,9

11/11/2020	29	1,53	1,93	1,87
24/11/2020	42	1,55	1,75	1,66
25/11/2020	43	1,56	1,71	1,68
26/11/2020	44	1,78	1,81	1,72
30/11/2020	48	1,97	2,03	1,93
03/12/2020	51	1,77	1,54	1,31

DO				
Tanggal	Hari ke-	Kontrol	EFB	SPONS
TAHAP 1				
12/10/2020	0	1,2	1,7	2,2
13/10/2020	1	2,8	2,9	2,5
14/10/2020	2	2,9	2,8	2,3
15/10/2020	3	2,7	2,4	2
16/10/2020	4	1	1,2	1,2
19/10/2020	7	2,4	2,7	2
22/10/2020	10	2	2,4	2,1
26/10/2020	14	1,6	2,2	2,2
02/11/2020	20	2,4	2,1	1,8
TAHAP 2				
09/11/2020	27	1,9	2,2	2,4
10/11/2020	28	1,8	2,1	2,5
11/11/2020	29	1,9	2,2	2,5
24/11/2020	42	1,8	1,7	1,2
25/11/2020	43	0,9	1,4	1,7
26/11/2020	44	1,2	1,8	2,3
30/11/2020	48	1,3	1,8	2,5
03/12/2020	51	1,1	1,5	1,8
07/12/2020	55	1,4	1,6	1,9

Lampiran 4 Dumentasi Penelitian

Pembuatan Reaktor



Pembuatan Air Limbah *Greywater* Sintetis



Aklimatisasi





Kondisi Tanaman





Pengujian COD



