

**EFEKTIVITAS DAN ADAPTASI TUMBUHAN ECENG
GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) DALAM
MENURUNKAN KADAR BIOCHEMICAL OXYGEN
DEMAND (BOD) DAN CHEMICAL OXYGEN
DEMAND (COD) PADA LIMBAH CAIR
PABRIK KELAPA SAWIT**

**THE EFFECTIVITY AND ADAPTATION OF WATER
HYACINTH (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) ON
REDUCING BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND
(BOD) AND CHEMICAL OXYGEN DEMAND
(COD) CONTENT IN PALM OIL
MILL EFFLUENT**

MUTMAINAH

TESIS

**Untuk memenuhi salah satu syarat
Guna memperoleh gelar Magister Pertanian
Program Studi Ilmu-Ilmu Pertanian**



**PROGRAM STUDI ILMU-ILMU PERTANIAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS TADULAKO
PALU
2019**

**EFEKTIVITAS DAN ADAPTASI TUMBUHAN ECENG
GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) DALAM
MENURUNKAN KADAR BIOCHEMICAL OXYGEN
DEMAND (BOD) DAN CHEMICAL OXYGEN
DEMAND (COD) PADA LIMBAH CAIR
PABRIK KELAPA SAWIT**

**THE EFFECTIVITY AND ADAPTATION OF WATER
HYACINTH (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) ON
REDUCING BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND
(BOD) AND CHEMICAL OXYGEN DEMAND
(COD) CONTENT IN PALM OIL
MILL EFFLUENT**

Oleh
MUTMAINAH
E 202 16 017

TESIS

Untuk memenuhi salah satu syarat
Guna memperoleh gelar Magister Pertanian
Program Studi Ilmu-Ilmu Pertanian



**PROGRAM STUDI ILMU-ILMU PERTANIAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS TADULAKO
PALU
2019**

PENGESAHAN

EFEKTIVITAS DAN ADAPTASI TUMBUHAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) DALAM MENURUNKAN KADAR BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD) CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Oleh
Mutmainah
Nomor Stambuk : E20216017

TESIS

Untuk memenuhi salah satu syarat
Guna memperoleh gelar Magister Pertanian
Program Studi Magister Ilmu-Ilmu Pertanian,
Telah disetujui oleh Tim Pembimbing pada tanggal
Seperti tertera di bawah ini,

Palu, 12 September 2018

(Prof. Ir. Zainuddin Basri, Ph.D.)
Ketua Tim Pembimbing

(Dr. Ir. Syamsudin Laude, M.P.)
Anggota Tim Pembimbing

Mengetahui,

(Prof. Dr. Ir. H. Alam Anshary, M.Si.)
Direktur Pascasarjana
Universitas Tadulako

(Dr. Ir. Hafsa, M.Sc.)
Koordinator Program Studi
Magister Ilmu-Ilmu Pertanian

PERNYATAAN MAHASISWA TENTANG KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

- 1) Karya tulis saya (tesis) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (sarjana, magister, dan/doktor), baik di Universitas Tadulako maupun di perguruan tinggi.
- 2) Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing.
- 3) Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
- 4) Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi

Palu, Februari 2019

Yang membuat pernyataan,



MUTMAINAH
No.Stb. E 202 16 017

ABSTRAK

Mutmainah (E 202 16 017) Efektivitas dan Adaptasi Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) dalam Menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Dibawah bimbingan **Zainuddin Basri** dan **Syamsuddin Laude**.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) dalam menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dan mengetahui kemampuan adaptasi Eceng Gondok setelah kontak dengan LCPKS selama 21 hari. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai November 2017 di PT. Manakarra Unggul Lestari, Mamuju Sulawesi Barat. Penelitian ini disusun dalam Rancangan Acak Lengkap, yang terdiri dari empat perlakuan yaitu : $P_0=0$ rumpun Eceng Gondok, $P_1=5$ rumpun Eceng Gondok, $P_2=10$ rumpun Eceng Gondok, dan $P_3=15$ rumpun Eceng Gondok yang ditempatkan didalam box sterofom berisi 105.000 cm^3 LCPKS/box perlakuan yang diulang sebanyak 3 kali, menghasilkan 12 unit percobaan. Berat basah, berat kering, volume akar, indeks stomata dan kadar klorofil Eceng Gondok juga di ukur untuk mengetahui adaptasi Eceng Gondok setelah kontak dengan LCPKS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Eceng Gondok efektif dalam menurunkan kadar BOD dan COD dalam LCPKS. Penurunan kadar BOD dan COD terbesar terjadi pada P_3 (15 rumpun Eceng Gondok). . Penurunan kadar BOD pada LCPKS setelah diberi eceng gondok sebesar 41,04%, dan penurunan kadar COD pada LCPKS setelah diberi eceng gondok sebesar 40,98%. Dari hasil penelitian diketahui tumbuhan Eceng Gondok mampu beradaptasi saat ditempatkan di LCPKS dan tidak menunjukkan tanda stress yang berarti.

Kata kunci : BOD, COD, Eceng Gondok, limbah cair pabrik kelapa sawit

ABSTRACT

Mutmmainah (E 202 16 017) The Effectivity and Adaptation of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms,) on Reducing *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) and *Chemical Oxygen Demand* (COD) content in Palm Oil Mill Effluent. Under the guidance of **Zainuddin Basri** and **Syamsuddin Laude**.

This research was conducted to determine the effectivity of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms,) on reducing *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) and *Chemical Oxygen Demand* (COD) content in Palm Oil Mill Effluent (POME) and find out water hyacinth's adaptation after contact to POME for 21 days. This research was conducted in September to November 2017 at PT. Manakarra Unggul Lestari, Mamuju, West Sulawesi. This research was arranged on Block Randomized Design, consist of four treatments: P₀=0 clumps of water hyacinth, P₁=5 5 clumps of water hyacinth, P₂=10 clumps of water hyacinth and P₃=15 clumps water hyacinth in sterofom box contains 105,000 cm³ POME/box treatment and repeated 3 times, resulting in 12 experimental units. Wet weight, dry weight, root volume, stomata index and chlorophyll content of water hyacinth were measured to determine the adaptation of water hyacinth after contact with liquid waste. The results showed that the plant water hyacinth was effective on BOD and COD content in POME. The research results showed that water hyacinth is effective on reducing BOD and COD content in POME. P₃ was the largest BOD and COD levels decrease. BOD levels on POME after being given water hyacinth was reduced by 41.04% and. COD levels on POME reduced by 40.98%. From the research can be concluded that water hyacinth plants were able to adapt when placed in the POME and did not show significant signs of stress.

Key words: BOD, COD, water hyacinth, palm oil mill effluent

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah ﷻ yang memiliki keistimewaan dan pemberian segala kenikmatan besar, baik nikmat iman, kesehatan dan kekuatan didalam penyusunan tesis ini. Salawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Sayyidina Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam, keluarga dan para sahabatnya dan penegak sunnah-Nya sampai kelak akhir zaman. Puji Syukur kehadiran Allah ﷻ karena berkat rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “Efektivitas dan Adaptasi Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) dalam Menurunkan Kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair pabrik kelapa sawit.” Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pertanian pada Program Pascasarjana, Universitas Tadulako.

Sungguh sulit bagi penulis untuk menyusun urutan penghargaan dan rasa terima kasih sesuai jasa masing-masing. Namun demikian, tiada pilihan lain bagi penulis untuk memanfaatkan kesempatan ini sebagai ungkapan hati dan menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada :

- 1) Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Basir, SE. MS., selaku Rektor Universitas Tadulako;

- 2) Bapak Prof. Dr. Ir. H. Alam Anshary, M.S., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Tadulako;
- 3) Bapak Dr. Nawawi Natsir, M.Si. selaku Wakil Direktur Bidang Akademik dan Kemahasiswaan, bapak Prof. Ir. Rusdi, M.Agr.Sc.,PhD. selaku Wakil Direktur Bidang Umum dan Keuangan Pascasarjana Universitas Tadulako;
- 4) Ibu Dr. Ir. Hafsah, M.Sc selaku koordinator Program Studi Magister Ilmu Ilmu Pertanian Pascasarjana Universitas Tadulako.
- 5) Bapak Prof. Ir. Zainuddin Basri, Ph.D. dan Bapak Dr. Syamsuddin Laude, M.P. selaku dosen pembimbing tesis yang membimbing dan mengarahkan penulis sejak awal menempuh program magister sampai terwujudnya tesis ini.
- 6) Bapak Dr. Lif.Sc.I Nengah Suwastika, M.Sc., M.Lif.Sc dan Dr. Sc. Agr. Ir. Henry N. Barus, M.Sc selaku dosen pembahas penulis, terima kasih atas saran-saran dan kritik yang sangat membangun untuk penyempurnaan tesis penulis;
- 7) Bapak Ir. Tonapa, M.P, H. Sainuddin, Andi Makasau, STP, Ir. Andi Ibrahim, Dedy Sultan, A.Md, Mansur, Zulkifli, Nur Salim, Idris dan Ibu Erni Pattalongi, S.E serta seluruh keluarga besar PT. Manakarra Unggul Lestari, Mamuju Sulawesi Barat tempat penulis tinggal dan melaksanakan penelitian kurang lebih selama 2 bulan, Penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya atas segala bantuan, dukungan dan pengorbanan selama penelitian berlangsung;

- 8) Teristimewa kepada kedua orangtua yang luar biasa ayahanda Jayadin, S.Sos dan Ibunda Turu Salandra, S.E yang dengan sabar senantiasa memberikan doa dengan penuh keikhlasan dan semangat, serta memberi bantuan kepada penulis selama masa kuliah dan penyelesaian tesis ini;
- 9) Suami penulis Ichsanul Amal, Amd, TI atas segala motivasi, bantuan, serta doa yang tak putus-putusnya selama penulis dalam masa-masa sulit penulis dalam penyusunan tesis;
- 10) Sahabat penulis Ludya Kasanova, S.Pd, Rizki Ananda S.Ikom, dr. Ashy Amelia, Ririn Aimang, S.Si, Kartika Maria Tendean S.Si, Revina Triani, S.Si, Nurul Aisyah, S.Si, Rifka, S.Si, Fitriani Husain, S.Si, Istighfarin Labago, S.Si, Mardalena Kenyamu S.Si, Sovia Monica, dan Lis Jayanti, S.KM atas sumbangsih keceriaan dan persahabatannya selama ini;
- 11) Rekan-rekan seperjuangan Kahar, S.P.,M.P Venny Astuti S.P.,M.P Ibrahim Hamzah S.Pt, M.P Jamahni S.Pt, Ir. Tonapa, M.P, Simson, S.P., M.P, drh. Erwin Hurudji, M.P, Zakiah Usman, S.P dan seluruh Mahasiswa Program Studi Ilmu-ilmu Pertanian Angkatan 2016 yang tidak sempat penulis sebutkan lagi satu persatu yang telah banyak memberikan motivasi dalam penyelesaian studi.
- 12) Dosen beserta staf Program Pascasarjana Universitas Tadulako dan semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Semoga Allah ﷻ membalas budi baik semua yang penulis telah sebutkan diatas maupun yang belum sempat ditulis. Akhir kata, meskipun telah berkerja dengan semaksimal mungkin, tesis ini tentunya tidak luput dari kekurangan. Harapan Penulis kiranya tesis ini dapat memberikan manfaat kepada pembacanya dan diri pribadi penulis. Amin....

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Palu, Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Kajian Pustaka	8
2.2.1 Eceng Gondok	8
2.2.2 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	12
2.2.3 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> dan <i>Chemical Oxygen Demand</i>	15
2.2.4 Adaptasi Tumbuhan	20
2.3 Kerangka Pemikiran	23
2.4 Hipotesis	26
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	27
3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian	27
3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel	28
3.4 Bahan Dan Alat	28
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Aklimatisasi Eceng Gondok	29
3.5.2 Pengambilan Sampel Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	29
3.5.3 Pelaksanaan Proses Fitoremediasi	30

3.5.4	Prosedur Pengukuran Kadar COD	30
3.5.5	Prosedur Pengukuran Kadar BOD	35
3.5.6	Analisa Adaptasi Dan Fisiologi Eceng Gondok	42
a.	Pengukuran Konsentrasi Klorofil Pada Daun	42
b.	Pengukuran Volume Akar	43
c.	Pengukuran Berat Basah Dan Berat Kering Eceng Gondok	44
d.	Pengukuran Indeks Stomata	44
3.6	Analisis Data	45

BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengamatan <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD) Pada LCPKS Setelah Proses Fitoremediasi	46
4.2	Pengamatan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) Pada LCPKS Setelah Proses Fitoremediasi	48
4.3	Pengukuran Derajat Keasaman (pH) LCPKS Setelah Proses Fitoremediasi	51
4.4	Pengukuran Tinggi Akhir LCPKS	52
4.5	Pengukuran Berat Basah Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	54
4.6	Pengukuran Berat Kering Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	55
4.7	Pengukuran Volume Akar Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	57
4.8	Indeks Stomata Daun Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	60
4.9	Pengukuran Kadar Klorofil Daun Eceng Gondok Setelah Proses Fitoremediasi	62
4.10	Sifat Fisik LCPKS Setelah Proses Fitoremediasi	65
4.11	Kondisi Morfologi Eceng Gondok Setelah Ditempatkan Pada LCPKS	66

BAB 5. PENUTUP

5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	68

DAFTAR RUJUKAN	69
-----------------------	----

LAMPIRAN	75
-----------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat dan komponen limbah cair pabrik kelapa sawit	13
2. Baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit	14
3. Derajat pengenceran P sesuai jenis air baku untuk tes BOD ₅	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tumbuhan Eceng Gondok	12
2. Bagan Alur Penelitian	25
3. Grafik Rata-rata kadar BOD pada LCPKS setelah diberi Eceng Gondok	46
4. Grafik Rata-rata kadar COD pada LCPKS setelah diberi Eceng Gondok	49
5. Grafik Rata-rata nilai pH pada LCPKS setelah diberi Eceng Gondok	51
6. Grafik Rata-rata tinggi akhir LCPKS	53
7. Grafik Rata-rata berat basah Eceng Gondok	54
8. Grafik Rata-rata berat kering Eceng Gondok	56
9. Grafik Rata-rata volume akar Eceng Gondok	58
10. Grafik Rata-rata indeks stomata Eceng Gondok	61
11. Grafik Rata-rata kadar klorofil Eceng Gondok	63
12. Limbah cair pabrik kelapa sawit setelah proses fitoremediasi	65
13. Kondisi fisik Eceng Gondok sebelum dan sesudah ditempatkan pada LCPKS	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1a. Hasil analisis kadar <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	75
1b. Hasil analisis ragam <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	75
1c. Uji Lanjut BNJ Kadar <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	75
2a. Hasil analisis kadar <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	76
2b. Hasil analisis ragam <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	76
2c. Uji Lanjut BNJ Kadar <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian eceng gondok	76
3a. Hasil analisis pH LCPKS setelah pemberian eceng gondok	77
3b. Hasil analisis ragam pH LCPKS setelah pemberian eceng gondok	77
3c. Uji Lanjut BNJ pH LCPKS setelah pemberian eceng gondok	77
4a. Hasil pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah 21 hari	78
4b. Hasil analisis ragam pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah 21 hari	78
4c. Uji Lanjut BNJ pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah 21 hari	78
5a. Hasil pengukuran berat basah eceng gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	79
5b. Hasil analisis ragam berat basah eceng gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	79
6a. Hasil pengukuran berat kering eceng gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	80
6b. Hasil analisis ragam berat kering eceng gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	80

7a. Hasil pengukuran volume akar eceng gondok (ml) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	81
7b. Hasil analisis ragam volume akar eceng gondok (ml) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	81
7c. Uji Lanjut BNP volume akar eceng gondok (ml) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS	81
8a. Hasil penghitungan indeks stomata pada daun eceng gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS	82
8b. Hasil analisis ragam indeks stomata pada daun eceng gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS	82
9a. Hasil pengukuran kadar klorofil pada daun eceng gondok setelah ditempatkan pada LCPKS	83
9b. Hasil analisis ragam kadar klorofil pada daun eceng gondok setelah ditempatkan pada LCPKS	83
10. Desain denah penelitian	84
11. Foto dokumentasi penelitian	85
12. Biodata Penulis	91

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peran penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia. Kelapa sawit adalah komoditas ekspor Indonesia penghasil devisa negara selain minyak dan gas. Indonesia mempunyai potensi yang besar untuk pengembangan industri kelapa sawit. Pada saat ini perkembangan industri kelapa sawit tumbuh pesat (Manurung dan Renita, 2004). Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia selama enam tahun terakhir cenderung menunjukkan peningkatan, naik sekitar 2,77 sampai dengan 11,33 persen per tahun. Pada tahun 2010 lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia tercatat seluas 8,55 juta hektar, meningkat menjadi 10,75 juta hektar pada tahun 2014 atau terjadi peningkatan 25,80 persen. Pada tahun 2015 diperkirakan luas areal perkebunan kelapa sawit meningkat sebesar 5,07 persen dari tahun 2014 menjadi 11,30 juta hektar (BPS, 2017). Perkembangan industri yang sangat cepat saat ini menyebabkan limbah-limbah industri pun menjadi bertambah. Sebagai akibatnya limbah yang dibuang ke lingkungan semakin berat, padahal kemampuan alam untuk menerima beban limbah sangat terbatas, sehingga dipastikan bahwa *self purification* saat ini telah terlampaui (Taufiq, 2010).

Limbah yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit termasuk kategori limbah berat dengan kuantitas yang tinggi dan kandungan kontaminan mencapai 8.200-

35.000 mg/L untuk BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan 15.103-65.100 mg/L untuk COD (*Chemical Oxygen Demand*), 1.330-50.700 mg/L untuk TSS (*Total Suspended Solid*). Limbah cair menyumbang sekitar 50% dari keseluruhan limbah PKS per ton Tandan Buah Segar (Kep. Men LH no. 51 th 1995).

Tiap pabrik kelapa sawit biasanya memiliki sistem pengolahan limbah atau IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) untuk menurunkan beban pencemar yang terdapat di dalam limbah. Pengolahan limbah pada pabrik kelapa sawit meliputi beberapa tahapan fisika, kimia dan biologi. Meskipun sudah mengalami pengolahan, limbah yang dibuang ke sungai masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Rahardjo, 2009). Hal ini terjadi karena IPAL belum berfungsi dengan baik (Azwir, 2006). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengolahan limbah yang dapat memberikan hasil yang optimal dalam mengolah dan mengendalikan limbah sehingga dampaknya terhadap lingkungan dapat dikurangi. Teknik yang pernah diperkenalkan dalam pengolahan limbah adalah dengan penggunaan tumbuhan. Banyak penelitian yang sudah pernah dilakukan menunjukkan kemampuan tanaman air dalam mengurangi beban pencemar pada limbah cair.

Jenis limbah industri banyak macamnya, tergantung dari bahan baku yang dipakai dalam industri dan sesuai dengan proses dari masing-masing industri. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri masih menjadi masalah bagi lingkungan sekitarnya, karena pada umumnya, industri terutama industri rumah tangga mengalirkan langsung air limbahnya ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu. Demikian pula dengan industri pabrik kelapa sawit yang pada umumnya merupakan

industri yang banyak tersebar di kota-kota besar dan kota-kota kecil (Rossiana dkk, 2007). Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) mengandung bahan organik yang tinggi sehingga potensial mencemari air tanah dan badan air (Rusmey, 2009). Hasil dari beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa konsentrasi BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) di dalam air limbah kelapa sawit cukup tinggi, yakni berkisar antara 5.000-10.000 mg/L, COD (*Chemical Oxygen Demand*) berkisar antara 7.000-10.000 mg/L serta mempunyai keasaman yang rendah yakni pH 4-5. Kandungan BOD dan COD dalam limbah yang dihasilkan pabrik kelapa sawit apabila langsung dibuang ke lingkungan dapat menjadi pencemar lingkungan yang sangat potensial, terutama untuk perairan di sekitar pabrik tersebut (Kaswinarni, 2007). Mengingat tingginya potensi pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah cair yang tidak dikelola dengan baik maka diperlukan pemahaman dan informasi mengenai pengelolaan limbah cair secara benar (Sari dkk, 2014).

Fitoremediasi merupakan teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan zat pencemar dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tumbuhan, salah satu tumbuhan yang efektif menjadi fitoremediator adalah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms). Eceng Gondok merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat. Tumbuhan ini berpotensi dalam menyerap logam berat dan merupakan tumbuhan dengan toleransi tinggi walau ditempatkan tempat yang ekstrim misalnya dalam air limbah, pertumbuhannya cepat serta menyerap dan mengakumulasi logam dengan baik dalam waktu yang singkat. Eceng Gondok juga dapat menurunkan nilai

BOD, COD dan TSS dalam limbah cair. Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan berbagai manfaat Eceng Gondok, dalam penelitian terdahulu yang menjelaskan bahwa sebanyak 9 batang tumbuhan Eceng Gondok berkontak dengan air limbah selama 9 hari menghasilkan penurunan kadar Hg yang awalnya 0,22 ppm (sampel kontrol) turun menjadi 0,0037 ppm. Syahrul (1998) menyatakan bahwa Eceng Gondok mampu tumbuh dengan baik dan menyerap zat organik non *biodegradable* yang terkandung dalam air limbah domestik dengan kadar COD kurang lebih 400 mg COD/L dengan syarat dipenuhinya unsur-unsur hara yang dibutuhkan dan tingkat keasaman diatur maksimum pada pH kurang lebih 8. Nugraheni dan Trihadaningrum (2002) menjelaskan tingginya daya serap Eceng Gondok terhadap unsur Cd dan Hg, Nugraheni (2002) meneliti kemampuan penyerapan Na sebesar 9,8% dari 228,6 mg/L Na dan Cl 19,3% dari 628,1 mg/L Cl. Penelitian lain yang dilakukan oleh Hasim (2003) menyatakan bahwa Eceng Gondok mampu menurunkan kadar besi (Fe).

Upaya untuk menangani limbah cair industri kelapa sawit yang ada di lingkungan dapat dilakukan dengan metode biologis. Fitoremediasi dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan air yaitu Eceng Gondok yang memiliki kemampuan untuk menurunkan kandungan BOD, COD, NH₃, phospat, dan padatan tersuspensi yang merupakan tolak ukur pencemaran oleh zat-zat organik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, rumusan masalah yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah tumbuhan Eceng Gondok efektif untuk menurunkan kadar BOD dan COD pada LCPKS ?
2. Bagaimana bentuk adaptasi Eceng Gondok secara fisiologis maupun anatomi setelah ditumbuhkan pada LCPKS ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui :

1. Efektivitas tumbuhan Eceng Gondok dalam menurunkan kadar BOD dan COD dalam LCPKS ?
2. Mengetahui bentuk adaptasi tumbuhan Eceng Gondok secara fisiologi dan anatomi setelah ditumbuhkan pada LCPKS.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada penulis maupun kepada pembaca antara lain :

1. Mengetahui efektivitas Eceng Gondok dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada LCPKS.
2. Mengetahui bagaimana bentuk adaptasi Eceng Gondok yang ditempatkan pada LCPKS baik secara fisiologis maupun anatomi.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

2.1. Penelitian Terdahulu

Ardiwinata (1985) menyatakan bahwa Eceng Gondok mampu menyerap berbagai zat yang terkandung di dalam air, baik zat yang terlarut maupun tersuspensi. Akan tetapi kecepatan penyerapan zat pencemar dari dalam air limbah oleh Eceng Gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya komposisi dan kadar zat yang terkandung dalam air limbah, kerapatan Eceng Gondok dan waktu tinggal Eceng Gondok dalam air.

Suardana (2009) menyatakan bahwa dalam menangani limbah cair yang ada di lingkungan dapat digunakan beberapa metode antara lain secara fisika, kimia dan biologi. Secara biologis dengan menggunakan tumbuhan air yaitu genjer, kiambang, kangkung, *Azolla pinnata* serta Eceng Gondok.

Eceng gondok memiliki kemampuan untuk menurunkan konsentrasi BOD, COD, NH₃, phospat dan padatan tersuspensi yang merupakan tolak ukur pencemaran oleh zat-zat organik. Masih dalam penelitian yang sama, diketahui bahwa pengaruh pemberian Eceng Gondok pada limbah rumah pemotongan hewan pada perlakuan dengan penutupan kepadatan Eceng Gondok sebesar 90% dapat menurunkan kadar BOD sampai dengan 55,50% dari nilai awal. Rukmi (2013) menyatakan bahwa Eceng Gondok mampu menurunkan kadar detergen, BOD dan COD dalam limbah laundry meskipun presentase penurunannya relatif kecil.

Chukwunonsoa, *et al* (2014) menyatakan Pada akhir setiap 7 hari selama periode retensi 6 minggu, analisis menunjukkan pengurangan bertahap dalam beban pencemaran. Setelah periode retensi 6 minggu, ada penurunan signifikan dalam BOD dan COD dalam Sampel LCPKS. Studi ini juga membuktikan bahwa Eceng Gondok mampu menyerap unsur-unsur mineral dari LCPKS seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan total komposisi unsur Eceng Gondok setelah 6 minggu retensi. Eceng Gondok mampu secara signifikan mengurangi BOD dan COD menjadi sekitar 50% dan pengurangan umumnya meningkat dengan pengenalan lebih banyak jumlah Eceng Gondok ke dalam sampel LCPKS.

Ajayi dan Ogunbayio (2012) juga menyatakan bahwa Eceng Gondok dapat secara signifikan mengurangi beban pencemaran limbah tekstil, metalurgi dan farmasi seperti BOD, DO, TTS, nitrat-nitrogen dan cadmium, tetapi sedikit atau tidak ada nilai penurunan pada tembaga dan besi. Pengurangan tertinggi didapatkan pada limbah cair farmasi, diikuti oleh limbah cair metalurgi dan yang terakhir adalah limbah cair industri tekstil. Eceng Gondok paling efisien untuk menghilangkan cadmium dan paling tidak efisien untuk tembaga dan besi dalam penelitiannya. Pengurangan BOD, DO, TTS, nitrat-nitrogen, cadmium dan tembaga berkisar antara 41,94% - 52,94%, 42,86% - 93,33%, 42,42% - 53,64%, 31,71%-63,91%, 87,69% - 95,59% dan 6,67% - 35,48%. Masing-masing dengan reduksi yang terjadi di air limbah farmasi dengan pengurangan 90,91%.

Tosepu (2012) menyatakan bahwa Eceng Gondok merupakan pembersih polutan yang cukup efektif. Tumbuhan perairan seperti Eceng Gondok dapat

dikembangkan sebagai pembersih polutan yang ramah lingkungan. Kemampuan Eceng Gondok dalam menyerap berbagai polutan perairan, di antaranya logam berat plumbum dan cadmium, hal ini tidak terlepas dari kandungan dan struktur batang tumbuhan ini.

2.2. Kajian Pustaka

2.2.1. Eceng Gondok

Eceng Gondok adalah tumbuhan yang hidup mengapung di air dan kadang berakar dalam tanah. Tingginya sekitar 0,4 - 0,8 meter. Eceng Gondok tidak mempunyai batang. Daunnya tunggal dan berbentuk oval. Ujung dan pangkalnya runcing, pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung, akarnya merupakan akar serabut. Eceng Gondok berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Pada umumnya Eceng Gondok tumbuh dengan cara vegetatif, yaitu dengan menggunakan stolon (Saputra dan Prasetyo, 2005).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya melaporkan bahwa Eceng Gondok dapat menyerap zat pencemar dalam air dan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi beban pencemaran lingkungan. Tercatat bahwa dalam waktu 24 jam Eceng Gondok mampu menyerap logam Cd, Hg dan Ni sebesar 1,35 mg/g; 1,77mg/g, dan 1,16 mg/g bila logam itu berada dalam keadaan tidak tercampur dan menyerap Cd 1,23 mg/g, 1,88 mg/g, dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam – logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain dalam. Eceng Gondok

merupakan tumbuhan akuatik yang secara teoritis dapat menyerap air dan unsur yang terdapat didalamnya sehingga dapat digunakan sebagai bioindikator dalam penyebaran radionuklida dan depolutan pada limbah radiaktif (Setiawati, 2004).

Kandungan selulosa Eceng Gondok sebesar 64,51% dari berat total (Joedodibroto, 1983) memungkinkan Eceng Gondok dapat dipakai sebagai bahan baku pembuatan papan partikel. Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai bahan baku pembuatan papan partikel merupakan salah satu alternatif manfaat yang memberikan nilai tambah Eceng Gondok bagi masyarakat. Dengan bertambahnya cara pemanfaatan Eceng Gondok maka populasinya diharapkan dapat dikontrol sehingga permasalahan yang timbul sebagaimana yang dipaparkan sebelumnya dapat diatasi (Saputra dan Prasetyo, 2005).

Pandey (1980) mengemukakan bagian – bagian dari tumbuhan Eceng Gondok sebagai berikut:

Akar

Bagian akar Eceng Gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang berserabut berfungsi sebagai pegangan atau jangkar tumbuhan. Peranan akar sebagian besar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tumbuhan dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari kantung akar ini berwarna merah. Susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel yang terlarut dalam air.

Daun

Daun tergolong dalam mikrofita yang terletak di atas permukaan air yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara yang berfungsi sebagai alat pengapung tumbuhan. Zat hijau daun (klorofil) Eceng Gondok terdapat dalam sel epidermis dipermukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (stomata) dan bulu daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang, dan daun selain sebagai alat penampungan juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O_2 dari proses fotosintesis. Oksigen hasil dari fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke dalam air.

Tangkai

Tangkai Eceng Gondok berbentuk bulat menggelembung yang didalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tumbuhan di permukaan air. Lapisan terluar petiole adalah lapisan epidermis kemudian di bagian bawahnya terdapat jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*). Rongga - rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih.

Bunga

Eceng Gondok berbunga dengan warna mahkota ungu muda, berbunga majemuk dengan jumlah 6 – 35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal.

Berikut adalah Klasifikasi Eceng Gondok :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Commelinales
Famili	: Pontederiaceae
Genus	: Eichhornia
Spesies	: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms

Pada perairan yang dangkal terutama yang berlumpur, Eceng Gondok tumbuh lebih baik daripada di perairan yang dalam. Hal ini erat kaitannya dengan kandungan nutrisi dalam lumpur yang lebih banyak dan lebih mudah diserap oleh tumbuhan daripada di perairan dalam. Sebaliknya Eceng Gondok juga memberikan pengaruh terhadap perairan lingkungan sekitarnya diantaranya adalah dapat menghambat lancarnya arus air, mempercepat proses pendangkalan karena memiliki kemampuan untuk menahan partikel-partikel yang terdapat dalam air, menyuburkan perairan dengan sampah-sampah organiknya sehingga memungkinkan tumbuhnya tumbuhan lain dan merupakan sarang dari berbagai vektor penyakit, seperti nyamuk. Lingkungan menjadi kurang bersih, khususnya air menjadi kotor (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2009).



Gambar 1. Tumbuhan Eceng Gondok
(Sumber : Wikipedia)

2.2.2. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) adalah salah satu produk samping dari pabrik minyak kelapa sawit yang berasal dari kondensat proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*) dan air pencucian pabrik (Departemen Pertanian, 2006). Sifat dan komponen LCPKS secara umum tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat dan Komponen Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Parameter	Rata-rata
Ph	4.7
Minyak	4000
BOD	25000
COD	50000
Total Solid	40500
Suspended Solid	18000
Total Volatile Solid	34000
Total Nitrogen	750
Kalium	2270
Magnesium	615

Sumber :Departemen Pertanian (2006)

LCPKS ini umumnya bersuhu tinggi 70-80°C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan BOD dan COD yang tinggi. Apabila limbah cair ini langsung dibuang ke lingkungan dapat mencemari lingkungan. Jika limbah tersebut langsung dibuang ke perairan, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan (Rahardjo, 2006).

Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu harus diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan. Baku mutu untuk limbah cair industri minyak kelapa sawit berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995 tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/ton)
BOD5	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Nitrogen total (sebagai N)	50,0	0,125
Nikel (Ni)		0,5 mg/l
Kobal (Co)		0,6 mg/L
pH		6,0 - 9,0
Debit Limbah Maksimum	2,5 m per ton produk minyak sawit (CPO)	

Sumber :Kep Men LH No. 51 (1995)

LCPKS merupakan nutrien yang kaya akan senyawa organik dan karbon. Dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauster, 2008). Jika gas-gas tersebut tidak dikelola dan dibiarkan lepas ke udara bebas maka dapat menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena gas metan dan karbon dioksida yang dilepaskan adalah termasuk gas rumah kaca yang disebut-sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi gas metan 21 kali lebih berbahaya dari CO₂ dan metan merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar (Sumirat dan Solehudin, 2009).

Saat ini telah banyak dikembangkan penelitian dalam pengolahan LCPKS seperti yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit dengan menggunakan Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (RANUT). Prosesnya diawali dengan pemisahan lumpur atau padatan yang tersuspensi, limbah cair dipompakan ke dalam reaktor anaerobik untuk perombakan bahan organik menjadi biogas. Untuk memenuhi baku

mutu lingkungan, limbah diolah lebih lanjut secara aerobik (*activated sludge system*) hingga memenuhi baku mutu lingkungan untuk dibuang ke sungai (Departemen Pertanian, 2006). Selain itu ada juga pengolahan LCPKS yang dikembangkan oleh Novaviro Tech Sdn Bhd, prosesnya adalah dengan mengendapkan limbah cair pada kolam pengendapan selama 2 hari lalu dimasukkan ke dalam tangki anaerobik berpengaduk untuk diolah dengan waktu retensi 18 hari (Novaviro, 2008).

2.2.3. Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD)

BOD adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf dan Eddy, 1991). Mays (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen tetapi untuk lebih sederhana dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Sedangkan COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat

(Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah diurai maupun yang kompleks dan sulit diurai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada (Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991).

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel segera setelah pengambilan contoh kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara titrasi (metode Winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut DO meter yang dilengkapi dengan *probe* khusus.

Prinsipnya dilakukan dalam kondisi gelap agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan dalam suhu yang tetap selama lima hari. Diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen dan oksigen tersisa ditera sebagai DO_5 . Hal yang penting diperhatikan dalam ini adalah mengupayakan agar masih ada oksigen tersisa pada pengamatan hari kelima sehingga DO_5 tidak nol. Bila DO_5 nol maka nilai BOD tidak dapat ditentukan (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Pada prakteknya, pengukuran BOD memerlukan kecermatan tertentu mengingat kondisi sampel atau perairan yang sangat bervariasi sehingga kemungkinan diperlukan penetralan pH, pengenceran, aerasi atau penambahan populasi bakteri. Pengenceran dan atau aerasi diperlukan agar masih cukup tersisa oksigen pada hari kelima. Secara rinci metode pengukuran BOD diuraikan dalam (APHA/AWWA/WEF, 2012) Umayal dan Cuvin, 1988; Metcalf dan Eddy, (1991) atau referensi mengenai analisis air lainnya.

Analisis BOD memang cukup memerlukan waktu lama karena melibatkan mikroorganisme (bakteri) sebagai pengurai bahan organik. Oksidasi biokimia adalah proses yang lambat. Dalam waktu 20 hari, oksidasi bahan organik karbon mencapai 95-99%, dan dalam waktu 5 hari sekitar 60-70% bahan organik telah terdekomposisi (Metcalf dan Eddy, 1991). Lima hari inkubasi adalah kesepakatan umum dalam penentuan BOD. Bisa saja BOD ditentukan dengan menggunakan waktu inkubasi yang berbeda asalkan dengan menyebutkan lama waktu tersebut dalam nilai yang dilaporkan (misal BOD₇, BOD₁₀) agar tidak salah dalam interpretasi atau memperbandingkan. Temperatur 20°C dalam inkubasi juga merupakan temperatur standar. Temperatur 20°C adalah nilai rata-rata temperatur sungai beraliran lambat di daerah beriklim sedang (Metcalf dan Eddy, 1991) dimana teori BOD ini berasal. Untuk daerah tropis seperti Indonesia, bisa jadi temperatur inkubasi ini tidaklah tepat. Temperatur perairan tropis umumnya berkisar antara 25 – 30°C, dengan temperatur inkubasi yang relatif lebih rendah bisa jadi aktivitas bakteri pengurai juga lebih

rendah dan tidak optimal sebagaimana yang diharapkan. Ini adalah salah satu kelemahan lain BOD selain waktu penentuan yang lama tersebut.

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena menggunakan peralatan khusus *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi (APHA/AWWA/WEF, 2012), Umaly dan Cuvin, 1988). Peralatan *reflux* diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (De Santo, 1978), sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit “*over estimate*” untuk gambaran kandungan bahan organik.

BOD dan COD seringkali digunakan sebagai parameter baku mutu air limbah, tetapi keberadaannya adalah bersama-sama dengan dua atau lebih parameter lain yang menjadi parameter kunci dari kualitas air limbah kegiatan yang bersangkutan. Ini berarti, bukan hanya BOD dan COD yang menjadi penentu pencemaran air limbah, tetapi kesemua parameter yang menjadi baku mutu air limbah dari kegiatan yang bersangkutan. Parameter pH dan TSS (*totalsuspended solids*) misalnya, juga berperanan penting dalam baku mutu limbah, yang lebih lanjut juga berarti berperan

penting dalam penentuan tingkat pencemaran perairan. Dari nilai pH akan dapat diketahui apakah telah terjadi perubahan sifat asam-basa perairan dari nilai pH alaminya, bila nilainya lebih tinggi lebih dari satu unit di atas normal berarti perairan menjadi terlalu basa, sebaliknya bila terjadi penurunan maka perairan menjadi terlalu asam. Bila ini terjadi, selain mengganggu biota atau ekosistem perairan, juga akan mengurangi nilai guna air. Demikian juga TSS, bila nilainya meningkat cukup signifikan, perairan akan tampak keruh dan terkesan kotor sehingga tentu saja mengurangi daya guna airnya.

Bila nilai BOD dan COD suatu perairan masih normal atau memenuhi baku mutu, belum dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi pencemaran, bila parameter kunci lainnya tidak diketahui. Karena bila parameter lainnya telah meningkat dan melebihi baku mutu, maka berarti ada indikasi pencemaran di perairan. Hal ini dapat terjadi karena bila terdapat bahan-bahan toksik (beracun) di perairan, logam berat misalnya (Mays, 1996;APHA, 1989), nilai BOD bisa jadi rendah atau masih memenuhi baku mutu, pada hal dalam air atau perairan tersebut terkandung bahan beracun atau air telah tercemar. Sebaliknya, bila nilai BOD dan COD telah cukup tinggi dan melebihi baku mutu, maka sudah dapat diduga ada indikasi pencemaran bahan organik.

BOD adalah parameter penduga jumlah oksigen yang diperlukan oleh perairan untuk mendegradasi bahan organik yang dikandungnya, sekaligus merupakan gambaran bahan organik mudah urai (*biodegradable*) yang ada dalam air atau perairan yang bersangkutan. Bila uji BOD dilakukan tanpa perlakuan tertentu dan

dengan suhu inkubasi setara suhu perairan, maka BOD dapat menggambarkan kemampuan perairan dalam mendegradasi bahan organik.

COD adalah parameter penduga jumlah total bahan organik yang ada dalam air atau perairan, baik yang mudah urai maupun yang sulit urai. Dengan membandingkan nilai COD dan BOD, akan diketahui gambaran jumlah bahan organik persisten (sulit urai) yang terkandung di dalamnya.

2.2.4. Adaptasi Tumbuhan

Adaptasi tanaman terhadap suatu kondisi lingkungan merupakan rekayasa secara khusus sifat-sifat karakteristik anatomi dan fisiologi untuk memberikan peluang keberhasilan menyesuaikan kehidupan di habitat tertentu. Oleh karena itu adaptasi anatomi dan fisiologi dapat dijadikan indikator terhadap perubahan lingkungan hidup tanaman. Namun demikian jenis tumbuhan yang berbeda menunjukkan sensitifitas yang berbeda pula terhadap perubahan lingkungan bahkan terhadap bahan pencemar khususnya logam berat. Banyak jenis tumbuhan yang mampu tumbuh pada tanah yang kaya arsen, selenium, nikel, promium, sianida, katmium dan logam lain. Seringkali logam berat dikeluarkan saat penyerapan oleh akar akibat adanya selektifitas membran sel akar. Ini merupakan mekanisme *avoidance* (penanggulangan). Spesies yang lain menyerap dan mengakumulasi logam sampai pada tingkat yang mematikan untuk spesies yang tidak toleran tanaman ini disebut spesies akumulator (Soerodikusumo, 1989 dalam Haryanti dkk 2009).

Adaptasi biokimiawi melibatkan perubahan molekuler, kecepatan dan pola rangkaian reaksi atau pola metabolisme sel, jaringan dan organ. Adaptasi ini sangat dipengaruhi oleh waktu yang tersedia bagi organisme untuk dapat memberikan respon terhadap perubahan lingkungan tersebut (Soerodikusumo, 1989 dalam Haryanti dkk 2009). Respon jangka pendek dapat terlihat pada perubahan morfologi maupun fisiologi. Tetapi bila perubahan terjadi terus menerus sampai satu periode perkembangan tanaman atau lebih, maka akan terjadi perubahan aklimatisasi dan naturalisasi (Jumin, 1992).

Tumbuhan air sangat membantu proses pengolahan air limbah pada kolam oksidasi terutama tumbuhan Eceng Gondok dalam menyerap senyawa nitrogen dan fosfor dari air tercemar (Andiese, 2011). Eceng Gondok mempunyai kemampuan dalam menyerap bahan organik, anorganik serta bahan pencemar lainnya. Tingkat pertumbuhannya yang sangat cepat dapat dimanfaatkan sebagai *biomonitoring* dan pembersih perairan dari polutan berbahaya seperti logam berat (Kholidiyah, 2010).

Eceng Gondok memiliki manfaat yang banyak terutama untuk keseimbangan ekosistem. Kemampuan Eceng Gondok tersebut menurut Hardiyanti (2007), Eceng Gondok mampu menyerap fosfat dari limbah deterjen terutama bagian akar, batang dan daun. Pertumbuhan tumbuhan akan dipengaruhi oleh keadaan lingkungan tempat tumbuhan tersebut untuk bisa bertahan hidup. Adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan merupakan sifat-sifat karakteristik anatomi dan fisiologi untuk memberikan peluang keberhasilan dengan menyesuaikan kehidupan di habitat

tertentu. Jenis tumbuhan yang berbeda menunjukkan sensitifitas yang berbeda pula terhadap lingkungan bahkan terhadap bahan pencemar (Haryanti dkk., 2009).

Respon fisiologis tumbuhan Eceng Gondok terhadap perairan tercemar ditunjukkan pada pertumbuhan jumlah anakan, kecepatan transpirasi dan jumlah stomata. Variasi anatomi tangkai daun Eceng Gondok tahan beradaptasi pada perairan tercemar limbah (Haryanti dkk, 2009). Kemampuan Eceng Gondok ini dapat menyerap senyawa-senyawa anorganik seperti fosfat, amoniak dan lainnya yang akan menimbulkan pengaruh terhadap Eceng Gondok tersebut.

Indeks stomata pada Eceng Gondok sebagai agen fitoremediasi bervariasi karena ada yang meningkat tetapi ada pula yang berkurang. Stomata terdapat hampir pada semua bagian permukaan tanaman terdiri dari lubang (porus) yang dikelilingi oleh dua sel penutup. Stomata dapat berinteraksi dengan jaringan mesofil (Gostin, 2009). Penghitungan indeks stomata yaitu jumlah stomata pada satu bidang pandang dibagi dengan jumlah stomata dan jumlah sel epidermis yang menunjukkan angka yang bervariasi. Pendekatan anatomi ini penting dilakukan guna mendukung pendekatan fisiologi maupun morfologi dalam menentukan genotipe yang peka maupun yang mampu beradaptasi pada kondisi cekaman limbah (Lestari 2006). Korelasi antar karakter dapat dijadikan sebagai alat seleksi tidak langsung terhadap karakter utama. Seleksi tidak langsung akan berhasil jika karakter tersebut dapat diukur lebih cepat dan akurat dibandingkan karakter utama (Wricke dan Weber, 1986).

2.3 Kerangka Pemikiran

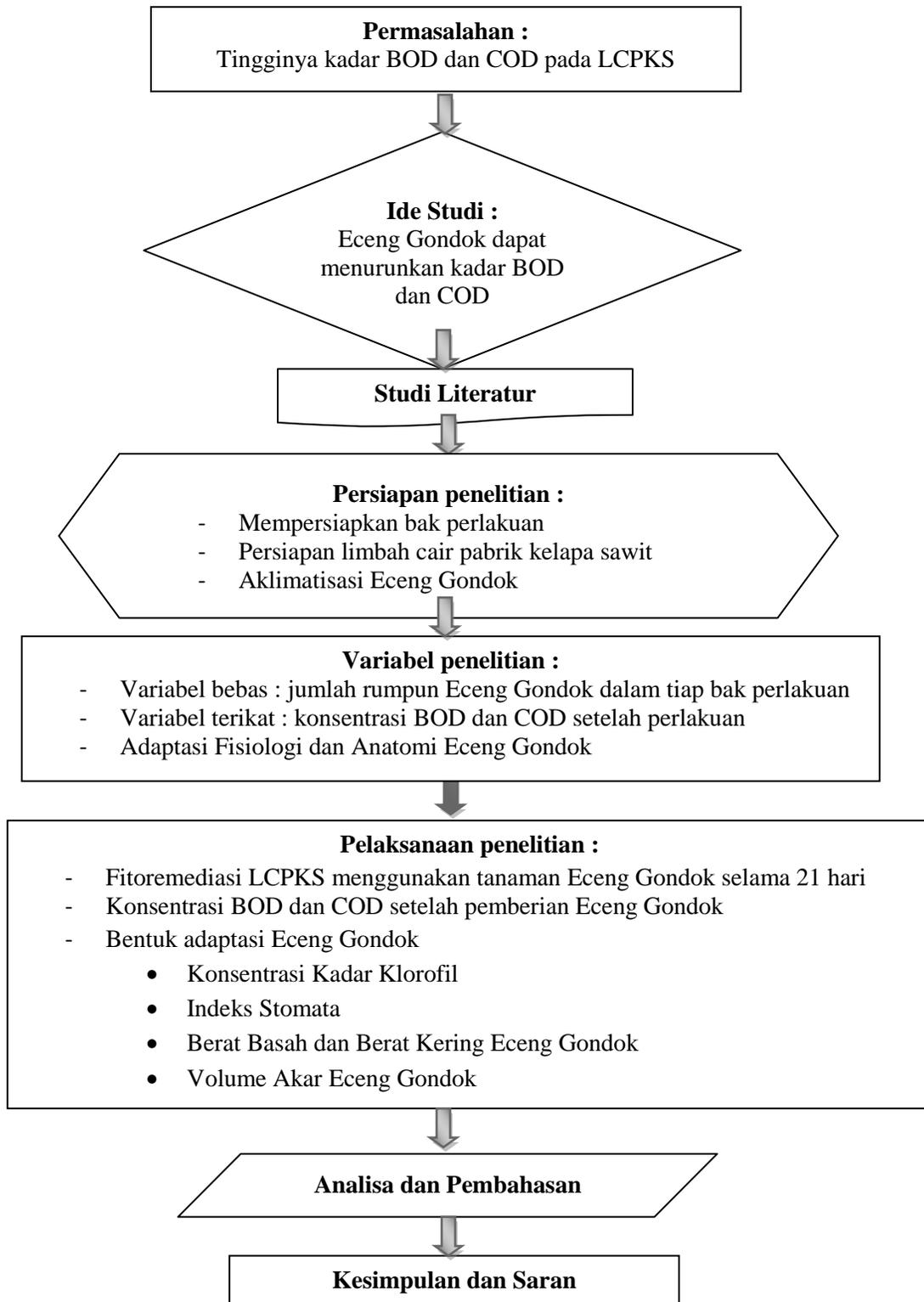
Pesatnya pertumbuhan industri di Sulawesi seperti industri pabrik kelapa sawit akan meningkatkan jumlah limbah sebagai produk samping aktivitas industri. Limbah yang tidak terkontrol akan menurunkan kemampuan lingkungan untuk mendegradasi limbah tersebut. Oleh karena itu diperlukan adanya upaya pengolahan limbah terlebih dahulu agar limbah yang dihasilkan mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan dan memenuhi standar baku mutu sesuai dengan peruntukannya.

LCPKS mengandung berbagai bahan organik diantaranya padatan terlarut, padatan tersuspensi, BOD, COD dan amoniak bebas. Pusat Penelitian Perkebunan bersama dengan Dirjen Perkebunan telah lama melakukan penelitian dan pengkajian tentang limbah cair yang paling baik untuk mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit. Limbah cair industri kelapa sawit didominasi oleh bahan organik, baik yang terlarut maupun yang berupa minyak. Dengan demikian, maka limbah cair ini lebih sesuai jika diproses secara biologis, salah satunya dengan teknik fitoremediasi (Rahardjo, 2006).

Fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik. Alternatif pengolahan air limbah sederhana adalah dengan fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Eceng Gondok*. Fitoremediasi adalah upaya penggunaan tumbuhan dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan baik secara

ex-situ menggunakan kolam buatan atau reactor maupun *in-situ* (langsung dilapangan) pada tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah. Dipilihnya Eceng Gondok karena berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya tumbuhan ini memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Selain itu Sheffield (1997) menyatakan bahwa tumbuhan ini mampu menurunkan konsentrasi ammoniak sebesar 81% dalam waktu 10 hari .

Aplikasi sistem bioremediasi dijadikan upaya untuk dapat menurunkan kadar BOD dan COD pada LCPKS. Pada proses fitoremediasi terjadi kontak antara tumbuhan sebagai agen fitoremediasi dengan limbah cair yang mengandung berbagai hasil dari industri kelapa sawit selanjutnya akan terjadi proses penyerapan zat-zat yang terdapat dalam limbah oleh ujung–ujung akar dengan jaringan meristem terjadi karena adanya gaya tarik menarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Zat-zat yang telah diserap oleh akar akan masuk ke batang melalui pembuluh pengangkut (*xylem*) yang kemudian akan diteruskan ke akar (Subroto, 1996).



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

2.4 Hipotesis

1. Eceng Gondok dapat menurunkan kadar BOD dan COD pada LCPKS
2. Eceng Gondok dapat beradaptasi saat ditumbuhkan pada LCPKS.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan Eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas Eceng Gondok dalam menurunkan konsentrasi BOD dan COD pada LCPKS dan daya adaptasi Eceng Gondok yang ditempatkan pada LCPKS. Penelitian ini memiliki kelompok kontrol dan perlakuan yang merupakan variabel independent penelitian. Penelitian dilakukan dengan mengadakan manipulasi (perlakuan berbeda) terhadap objek penelitian.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan sebagai berikut :

P_0 = 0 rumpun Eceng Gondok per bak styrofoam

P_1 = 5 rumpun Eceng Gondok per bak styrofoam

P_2 = 10 rumpun Eceng Gondok per bak styrofoam

P_3 = 15 rumpun Eceng Gondok per bak styrofoam

Setiap perlakuan diatas diulang sebanyak 3 kali sehingga jumlah satuan percobaan yang diamati adalah 12 unit perlakuan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PT. Manakarra Unggul Lestari, Desa Leling dan Kakulasan Kecamatan Tommo Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat. Secara geografis lokasi penelitian terletak antara $2^0 10'$ – $2^0 17'$

Lintang Selatan dan $119^{\circ} 20'$ – $119^{\circ} 33'$ Bujur Timur. Penelitian dilaksanakan sejak bulan September sampai dengan November 2017. Pengujian kadar BOD, COD dan nilai pH LCPKS dilaksanakan di Laboratorium Analisis Sumberdaya Alam dan Lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Tadulako, sedangkan pengujian pada Eceng Gondok seperti volume akar, berat basah, berat kering, indeks stomata dan kadar klorofil dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

3.3. Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Populasi adalah keseluruhan objek dalam penelitian, artinya semua tumbuhan Eceng Gondok dan LCPKS yang di tempatkan pada box sterfoam (12 box penelitian)

Sampel penelitian dapat dikelompokan menjadi dua, yaitu :

1. Sampel penelitian LCPKS untuk pengamatan parameter BOD, COD, pH dan pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah perlakuan.
2. Sampel penelitian Eceng Gondok untuk pengamatan adaptasi tumbuhan Eceng Gondok dengan parameter berat basah, berat kering, volume akar, indeks stomata dan kadar klorofil.

3.4 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tumbuhan Eceng Gondok, LCPKS milik PT. Manakarra Unggul Lestari, *aquadest*, air bersih, alkohol 96% dan tissue.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini selain untuk pengukuran BOD dan COD ini adalah bak sterofoam berukuran 70x50x40 cm, mikroskop, lumpang alu, kaca objek, kaca penutup, scalpel, gelas ukur 50 ml, mistar, *spektrofotometer UV*, gelas kimia 100 ml, labu takar 100 ml, kuvet, pinset, *water bath*, pH meter, oven, *centrifuge* dan neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg.

3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian:

3.5.1 Aklimatisasi Eceng Gondok

Eceng Gondok diambil dari kolam dangkal di area sekitar pabrik sebelum ditumbuhkan di LCPKS terlebih dahulu tanaman Eceng Gondok diaklimatisasi, yaitu ditumbuhkan selama 5 hari di air bersih. Hal ini dilakukan agar tumbuhan Eceng Gondok tidak mengalami stress dan lebih optimal dalam penyerapan BOD dan COD dari limbah cair.

3.5.2 Pengambilan Sampel LCPKS

LCPKS diambil dari kolam limbah inlet milik PT. Manakarra Unggul Lestari yang kemudian di tempatkan di bak sterofoam yang berukuran 70x50x40 cm dengan total volume 140.000 cm³. Total volume limbah cair yang digunakan sebanyak 105.000 cm³/ box percobaan. Hal ini dilakukan agar tetap memberi ruang bagi tumbuhan Eceng Gondok yang akan dimasukkan ke dalam bak sterofoam.

3.5.3 Pelaksanaan Proses Fitoremediasi LCPKS dengan menggunakan Eceng Gondok

Proses fitoremediasi dilaksanakan sebagai upaya untuk mengembalikan kualitas limbah cair dengan mengurangi konsentrasi BOD dan COD dalam limbah dengan cara memasukan agen fitoremediasi (tumbuhan Eceng Gondok) yang telah diaklimatisasi selama 5 hari ke dalam bak perlakuan yang telah di isi dengan limbah cair pabrik kelapa sawit. Sesuai dengan unit perlakuan. Proses fitoremediasi akan dilakukan selama 21 hari.

3.5.4 Prosedur Pengukuran Kadar COD

Alat-alat

- a. Alat refluks, terdiri dari gelas Erlenmeyer 250 ml dan kondensor Liebig dengan system ground glass joint (sambungan kaca yang tersambung)
- b. Batu didih terbuat dari kaca atau porselin atau bahan lain;
- c. Pemanas listrik atau pembakar Bunsen;
- d. Buret 50 ml, dapat yang semi-otomatis jenis Pellet;
- e. Dispenser volum 30 ml (untuk membagikan H_2SO_4 pekat pada penyiapan sampel);
- f. Pipet 10 ml, 20 ml;
- g. Beker tinggi 200 ml, karet penghisap;
- h. Labu takar 1 l; 1 labu takar 100 ml.

Reagen

- a. Larutan standard kalium dikromat 0,250 N :

Menggunakan labu takar 1 l untuk melarutkan 12, 259 g $K_2Cr_2O_7$ p.a (telah di keringkan dalam oven $\pm 105^\circ C$ selama 2 jam dan didinginkan dalam desikator untuk menghilangkan kelembaban), tambahkan air suling sampai 1000 ml.

- b. Perak sulfat : Bubuk Ag_2SO_4

- c. Asam sulfat : (specific gravity 1.84), H_2SO_4 pekat.

- d. Reagen asam sulfat : H_2SO_4 pekat yang telah ditambah ± 10 g Ag_2SO_4 per 1 asam.

Pelarutan garam Ag_2SO_4 ini membutuhkan waktu 1 sampai 2 hari.

- e. Larutan standard fero ammonium sulfat (titran) 0,10 N.

Gunakan labu takar 1 l untuk melarutkan 39 g $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ di dalam ± 500 ml air suling. menambahkan 20 ml H_2SO_4 pekat, menambahkan air suling sampai 1 l. larutan harus distandardkan dengan larutan standard kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$). Larutan FAS ini tidak stabil karena sebagai zat pereduksi akan dioksidasi sedikit demi sedikit oleh oksigen terlarut dari udara. Standardisasi perlu dilakukan setiap hari sebelum dan sesudah tes COD.

Standardisasi larutan titran FAS :

Menggunakan beker tinggi 200 ml untuk mengencerkan 10 ml larutan standard $K_2Cr_2O_7$ (lihat butir a) dengan air suling sampai ± 100 ml. tambahkan 30 ml H_2SO_4 pekat. Dinginkan, kemudian dititrasikan dengan fero ammonium sulfat dengan menggunakan 2 sampai 3 tetes (0,1 sampai 0,15 ml) indicator ferroin (lihat butir f).

warna larutan berubah dari hijau ke biru- biruan menjadi oranye kemerah- merahan.

Dengan demikian :

$$\text{Normaliti FAS} = \frac{\text{ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times \text{normaliti K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{ml FAS yang di gunakan}}$$

$$= \frac{10 \times 0,25}{\text{ml FAS}}$$

ml FAS

f. Indikator fenantrolin fero sulfat (feroin) :Menggunakan labu takar 100 ml untuk melarutkan 1,10 fenantrolin monohidrat sebanyak 1, 485 g dari 695 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan sedikit air suling, kemudian encerkan sampai 100 ml. Larutan ini dapat bertahan 1 sampai 4 minggu.

g. Merkuri sulfat : HgSO_4 bubuk auat Kristal.

h. Asam sulfamat.

Cara kerja

1. Memindahkan $\pm 0,4$ g HgSO_4 ke dalam gelas Erlenmeyer COD 250 ml.
2. Memasukan 5 atau 6 batu didih yang telah dibersihkan terlebih dahulu kedalam gelas Erlenmeyer tersebut.
3. Menambahkan larutan sampel (sampel yang sudah diencerkan dengan air suling) sebanyak 20 ml).
4. Menambahkan larutan $\text{K}_2\text{CR}_2\text{O}_7$ 0,25 N sebanyak 10 ml.
5. Menyiapkan 30 ml reagen asam sulfat-perak sulfat, pindahkan dengan menggunakan dispenser sebanyak ± 5 ml reagen H_2SO_4 tersebut ke dalam gelas

erlenmeyer COD. Kocok perlahan- lahan untuk mencegah penguapan, tetapi harus tercampur dan panasnya merata.

6. Mengalirkan air pendingin pada kondensor dan letakan gelas Erlenmeyer COD di bawah kondensor. Tuangkan sisa reagen H_2SO_4 dari butir 5 yaitu ± 25 ml, melalui kondensor ke dalam gelas Erlenmeyer COD (gelas refluks) sedikit demi sedikit dengan menggunakan dispenser dan selama ini goyangkan gelas refluks agar semua reagen dan sampel tercampur.
7. Tempatkan kondensor dengan gelas Erlenmeyer COD (gelas refluks) atau pemanas Bunsen. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan selama ± 2 jam.
8. Biarkan gelas refluks dingin dahulu, kemudian bilaslah kondensor dengan air suling sebanyak kira- kira 25 – 50 ml.
9. Lepaskan gelas refluks dari kondensor, dinginkan larutan (untuk lebih cepat gelas refluks dapat direndam dalam air) kemudian encerkan larutan yang telah direfluks tadi sampai menjadi 2 kali larutan dalam gelas refluks dengan air suling. Tambahkan air suling kira- kira 150 – 200 ml. Dinginkan lagi sampai suhu ruangan.
10. Tambahkan 3 – 4 tetes indikator ferroin.
11. Dikromat yang tersisa di dalam larutan sesudah direfluks, dititrasikan dengan larutan standard ferro ammonium sulfat 0,10 N, sampai warna hijau-biru menjadi coklat- merah.
12. Blanko terdiri dari 20 ml air suling yang mengandung semua reagen yang ditambahkan pada larutan sampel. Refluks dengan cara yang sama seperti di atas.

13. Untuk mendapatkan hasil yang teliti, maka harus dibuat duplikat untuk setiap sampel.

Bila COD larutan < 70 mg/l maka tetap ikuti cara kerja di atas dengan perubahan-perubahan sebagai berikut :

- a. Normality larutan standard kalium dikromat adalah 0,025 N.
- b. Lindungi larutan sampel dalam gelas refluks dari sisa zat organis pada gelas yang mungkin ada atau debu diudara.

Catatan

- a. Penambahan 0,40 g HgSO₄ dalam 20 ml sampel berlaku untuk kadar klorida sampai 2000 mg/l. Apabila volum sampel diperkecil maka perbandingan HgSO₄ Cl, harus tetap yaitu 200mg/l : 2000mg/l, atau 1 : 10. Bila kadar klorida di dalam sampel > 2000 mg/l maka analisa COD tak dapat dilakukan karena gangguan ini.
- b. Penambahan asam sulfamat dalam sampel dilakukan bila konsentrasi NO₂ – N sangat tinggi yaitu > ± 2 mg/l. 10 mg asam sulfamat/mg NO₂ – N di tambahkan baik dalam sampel maupun dalam blanko.

PERHITUNGAN

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = \frac{(a-b) \times N \times 8000}{\text{ml sampel}}$$

a = ml FAS yang digunakan untuk titrasi blanko

b = ml FAS yang digunakan untuk titrasi sampel

N = normaliti larutan FAS

Catatan : Kadar larutan reagen selalu dipilih agar (a – b) > 1 ml.

3.5.5 Prosedur Pengukuran Kadar BOD

Alat- alat

- a. Botol- botol inkubasi Winkler (terbuat dari kaca) 250 – 320 ml, botol tersebut dapat memakai tutup khusus lingkar air (water seal), tetapi biasanya dasar tutupnya membentuk kerucut supaya kelebihan air dan gelembung udara dapat dihilangkan dengan mudah;
- b. Inkubator : suhu terjamin $20 \pm 1^{\circ} \text{C}$; gelap;
- c. 4 labu takar 1 liter; 3 labu takar 2 liter; 4 labu takar 1 liter; 3 labu takar 2 liter; bermacam-macam pipet; kalau tersedia, dispenser otomatis;
- d. Peralatan bagi analisa oksigen terlarut

Reagen

- a. Air suling : tidak boleh mengandung zat beracun, seperti Cr, Cl₂, dan sebagainya.
- b. Larutan buffer fosfat :

Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi ± 500 ml air suling, 8,5 g KH₂PO₄, 21,75 g K₂HPO₄, 33,4 g Na₂HPO₄, 7H₂O, dan 1,7 g NH₄Cl. Kemudian diencerkan dengan air suling sampai menjadi 1,000 liter, sesuaikan pH-nya sampai pH 7,2 dengan asam HCl atau basa NaOH 0,1 atau 1 N.
- c. Larutan magnesium sulfat :

Larutkan ke dalam labu takar 1 liter bersi ± 500 ml air suling. 22,5 g Mg SO₄. 7H₂O dan encerkan dengan air suling sampai menjadi 1,000 liter.
- d. Larutkan kalsium klorida :

Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi \pm 500 ml air suling, 27,5 g CaCl_2 dan encerkan dengan air suling sampai menjadi 1,000 liter.

e. Larutan feriklorida :

Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi \pm 500 ml air suling, 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ dan encerkan dengan air suling sampai menjadi 1,000 liter.

f. Larutan basa NaOH atau KOH, dan asam HCl atau H_2SO_4 1 N untuk menetralkan sampel air yang bersifat asam atau basa sampai pH-nya berkisar antara 7,0 dan 7,6.

g. Bubuk inhibitor nitrifikasi :

N- serve (Dow Chemicals), allytio-ureum (ATU) (Merck) atau Nitrification Inhibitor 2533 (Hack Chem. Co).

h. Air pengencer (larutan kerja) :

Hitunglah berapa volume air pengencer yang dibutuhkan untuk melaksanakan sejumlah analisa BOD yang direncanakan, tuangkanlah ke dalam botol atau jirigen sebanyak liter air suling dan tambah per liternya, 1 ml dari masing- masing larutan serta kurang lebih 10 mg bubuk inhibitor nitrifikasi. Sesuaikan pH pada $\text{pH } 7,0 \pm 0,1$. Campuran dikocok lalu diaerasikan selama 1 jam (jika volum > 10 l, diperlukan 2 jam).

Cara kerja

1. Sampel yang bersifat asam atau basa harus dinetralkan sampai pada $\text{pH } 7,0 \pm 0,1$ dengan menggunakan asam atau basa.
2. Sampel yang diduga mengandung sisa klor aktif yang dapat menghalangi proses mikrobiologis harus ditentukan konsentrasi klor aktifnya. Per mol klor aktif yang

dikandung sampel, dibutuhkan satu mol zat pereduksi, seperti Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan sebagainya.

3. Sampel yang mengandung oksigen yang melebihi kejenuhannya (terlalu jenuh), misalnya lebih dari 9 mg O_2/l pada 20°C , perlu diturunkan kadar oksigennya dengan cara pengocokan. Keadaan tersebut dapat terjadi pada sampel yang ditumbuhi ganggang.
4. Pengenceran sampel : Oleh karena jumlah oksigen dalam botol terbatas, maksimum 9 mg O_2/L tersedia, dan sebaiknya oksigen terlarut pada akhir masa inkubasi antara 3 dan 6 mg O_2/L , maka sampel perlu diencerkan.

Karena kadar BOD tidak diketahui terlebih dahulu, beberapa pengenceran harus dicoba secara serempak agar supaya setelah inkubasi selama 5 hari paling sedikit 1 sampel masih mengandung antara 3 dan 6 mg O_2/L . Dengan demikian analisa setiap sampe memerlukan :

- 3 pengenceran R, S dan T (atau lebih banyak kalau BOD sampel tidak dapat ditaksir sama sekali)
- 1 blanko (untuk menentukan BOD air pengencer)

Ada 2 cara untuk menaksir pengenceran yang cocok :

- A. Bila COD sampel telah diketahui, maka taksiran kadar BOD yang terdekat adalah sebagai berikut (lihat table 10.1 untuk prinsipnya)

R (rendah) : sampel sedikit bersifat 'biodegradable'

$$\text{BOD}_{\text{R (rendah)}} \geq 0,16 \times \text{COD};$$

S (sedang) : sampel cukup bersifat 'biodegradable'

$$BOD_{S(\text{sedang})} \geq 0,32 \times \text{COD}$$

T (tinggi) : sampel sangat bersifat 'biodegradable'

$$BOD_{T(\text{tinggi})} \geq 0,65 \times \text{COD}$$

B. Bila COD sampel tidak diketahui sebelumnya. Untuk menaksir pengenceran P yang cocok. Minimum diharapkan 3 derajat pengenceran. Misalnya, bila sampel air sungai yang diduga tercemar oleh zat organik, maka taksiran BODnya berada sekitar 15 dan 60 mg O₂ / liter sehingga dipilih P = 0,25; 0,125 dan 0,0625.

5. Dari cara pemilihan derajat pengenceran P, tiga atau lebih derajat pengenceran dipilih. Bila salah satu derajat pengenceran adalah P = 0,25, maka 2 liter larutan sampel yang sudah diencerkan harus disiapkan yang terdiri dari 500 ml sampel asli dan 1500 ml air pengencer (Tabel 3). 2 botol BOD diisi dengan larutan tersebut (larutan R), satu untuk analisa pada saat t = 0, yaitu botol R dan yang satu lagi untuk analisa pada saat t = 5 hari yaitu botol R2 - Pengenceran "S" yang berikutnya dibuat dengan memindahkan 1 liter larutan "R" ke dalam labu takar 2 liter dan pengisiannya sampai penuh dengan 1 liter air pengencer. Dua botol BOD diisi dengan larutan "S" ini. Larutan "T" dibuat dengan memindahkan 1 liter larutan "S" ke dalam labu takar 2 liter, lalu diisi sampai penuh dengan air pengencer.
6. Dua botol BOD diisi dengan larutan "T" ini. Dua botol BOD diisi dengan air pengencer (larutan kerja) serta benihnya berlaku sebagai blanko. BODs blanko seharusnya antara 0,5 dan 2 mg O₂ / t.

7. Botol-botol BOD (sampel dan blanko) lalu disimpan dalam inkubator (suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) selama kira-kira 1 jam. Kalau suhu larutan tersebut sebelumnya lebih tinggi daripada 20°C , maka akan terjadi penurunan volum dalam botol. Setelah 1 jam botol tersebut dibuka sebentar lalu diisi dengan air pengencer sehingga di dalam botol tertutup tidak ada gelembung udara

Tabel 3. Derajat pengenceran P sesuai jenis air baku untuk tes BOD_s

Jenis air bak	BOD _s Perkiraan	(ml sampel yang harus di encer sampai menjadi 2 liter	Derajat pengenceran P
Air leding, air sumur	0- 8	1000	0,5
Air sungai	{ 15	500	0,25
Air sungai tercemar	{ 30	250	0,125
	{ 60	125	0,0625
Air drainase tercemar			
Air buangan	{ 125		0,03
penduduk	{ 250	60	0,015
riolering	{ 500	30	0,075
Air buangan industri	{ 1000	15	0,004
(industry organis)	{ 2000	8	0,002
	{ 4000	4	0,001

Dst	2	dst
	dst	

8. Separuh dari jumlah botol-botol BOD tersebut lalu disimpan terus dalam inkubator (suhu $20 \pm 1^\circ\text{C}$) selama 5 hari. Separuhnya dikeluarkan untuk analisa oksigen terlarut.
9. Analisa oksigen terlarut (OT) dilakukan pada botol blanko 1, R1, S1, dan T1 pada saat $T = 0$ hari (setelah botol disimpan 1 jam dalam incubator untuk mendapatkan suhu 20°C) dan pada saat $t = 5$ hari. Baik cara elektrokimia dengan elektroda membrane (cepat, tapi tidak terlalu teliti) maupun dengan titrasi Winkler (teliti) dapat dipakai (lihat bagian B dan C Bab ini). Supaya hasilnya adalah teliti setelah inkubasi, OT harus antara 3 dan 6 mg O_2/l .

Waktu analisa :	t = 0 hari	T = 5 hari
	Blanko 1	Blanko 2
	R ₁	R ₂
	S ₁	S ₁
	T ₁	T ₁

11. Jika jumlah sampel BOD lebih banyak (yang memakai air pengencer yang sama), 2 blanko tersebut cukup. Supaya lebih teliti, duplikat blanko dapat dibuat.

Pengecekan ketelitian pelaksanaan analisa BOD

Analisa BOD adalah penting dan bermanfaat, walaupun analisisnya tidak sebegitu mudah dan sering dilaksanakan secara kurang teliti. Serang laboran atau mahasiswa baru yang ingin mengerjakan banyak analisa BOD, sebaiknya mengecek cara kerjanya dengan metode pengecekan dibawah ini.

Larutan standar dibuat dengan melarutkan pada $\pm 0,5$ liter air suling di dalam labu takar 1 liter.

- 750g glukosa monohidrat (BM = 198);
- 750g asam L – glutamik garam-Na monohidrat (BM = 187);
- 1,21g KH_2PO_4 ;
- 1,06g K_2HPO_4 ;
- 0,10g $\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$;
- 0,01g $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$;
- 0,10g CaCl_2 .

Tambahkan larutan NaOH atau H_2SO_4 samapu pH == $7,0 \pm 0,1$, kemudian encerkan dengan air suling sampai 1 liter. Larutan tersebut bersifat tetap dan mengandung kadar COD = 1270 mg O_2 /liter ($\text{BOD}_s = 0,65 \times 1270 = 825$ mg O_2 /liter. Larutan standard ini masih harus ditambah benih serta inhibitor nitrifikasi, supaya reaksi mikrobiologis berjalan secara optimal. Hasil pengecekan harus dalam batas lebih atau kurang 5 % dari angka BOD teoretis yang disebut atas.

Perhitungan : $BOD_S^{20} = \frac{(X_O - X_S) - (B_O - B_S)(1 - P)}{P}$

BOD_S^{20} : sebagai mg O_2/l ;

X_O : OT (oksigen terlarut) sampel pada saat $t = 0$ (mg O_2/l);

X_S : OT sampel pada saat $t = 5$ hari (mg O_2/l);

B_O : OT blanko pada saat $t = 0$ (mg O_2/l);

B_S : OT blanko pada saat $t = 5$ hari (mg O_2/l);

P : derajat pengenceran

3.5.6 Analisa adaptasi dan fisiologi Eceng Gondok

a. Pengukuran Konsentrasi Klorofil pada Daun

Metode penentuan klorofil adalah dengan teknik Spektroskopi dengan Spektrofotometer UV. Pengukuran kadar klorofil secara spektrofotometrik didasarkan pada hukum Lamber – Beer.

- **Penyiapan larutan klorofil**

Menimbang daun Eceng Gondok sebanyak 1 gram lalu diekstrak (digerus dengan lumpang dan alu) dengan ditambahkan 10 ml pelarut alkohol 96 %. Selanjutnya ekstrak klorofil dipipet dan diisi kedalam Valcon Tube, kemudian di endapkan selama 24 jam.

- **Kalibrasi Transmittansi**

Terlebih dahulu dilakukan dikalibrasi terhadap nilai transmitansinya. Nilai transmittan pelarutnya harus dibuat atau diatur 100%, sehingga nilai absorbansi

yang dihasilkan saat pengukuran semata-mata ditentukan oleh klorofil sebagai zat terlarutnya (bukan oleh pelarut).

- **Pengukuran Absorbansi (OD)**

Hidupkan alat Spektrophotometer sebelum digunakan untuk mengukur. Tuangkan pelarut (alkohol) ke dalam cuvet sampai garis batas. Bersihkan dan keringkan permukaan luar tabung cuvet. Atur panjang gelombang pengukuran pada spektrofotometer. Masukkan cuvet ke spektrofotometer. Atur atau buatlah nilai “*transmittan*” menjadi 100 %, dengan memutar tombol pengatur sinarnya.

- **Pengukuran Klorofil**

Tuangkan larutan klorofil ke cuvet sampai garis batas. Bersihkan permukaan cuvet dengan tissue, dan masukkan ke spektrofotometer. Catat nilai absorbansi ($A = OD$) untuk setiap panjang gelombangnya.

- **Rumus menghitung klorofil**

Pelarut ethanol 96 % (Wintermans dan de Mots: 1965)

$$\text{Total klorofil} = 20,0 \text{ OD}_{649} + 6,10 \text{ OD}_{665} \text{ (mg/l)}$$

b. Pengukuran Volume Akar

Akar tumbuhan Eceng Gondok diambil dengan hati-hati, disiram dengan menggunakan air bersih agar akar tidak rusak, setelah itu dikeringkan airnya dengan tissue. Menyiapkan gelas ukur 25 ml yang telah diisi air 15 ml sebagai volume awal. Memasukkan akar dalam gelas ukur yang sudah terisi air tadi dan

melakukan pengamatan pada peningkatan volume yang ditandai air yang naik. Volume akar Eceng Gondok dapat di hitung dengan mengurangi volume akhir dengan volume awal.

c. Pengukuran Berat Basah Dan Berat Kering Eceng Gondok

Pengukuran berat basah dan berat kering dilakukan untuk melihat pertumbuhan Eceng Gondok selama ditumbuhkan pada limbah cair kelapa sawit. Berikut adalah prosedur pengukuran berat basah dan berat kering Eceng Gondok : pengukuran awal (hari 0 perlakuan) diawali dengan mengambil 5 tumbuhan Eceng Gondok dari gorong-gorong dangkal di sekitar pabrik kelapa sawit PT. Manakarra Unggul Lestari di Mamuju, untuk pengukuran berat basah, tumbuhan Eceng Gondok terlebih dahulu di cuci dengan menggunakan air bersih kemudian langsung ditimbang, selanjutnya Eceng Gondok yang telah diukur berat basahnya dibawa ke laboratorium untuk di keringkan menggunakan oven kurang lebih 24 jam dengan suhu 40°C , setelah itu berat Eceng Gondok kembali ditimbang dengan menggunakan neraca analitik, dan dicatat sebagai berat kering Eceng Gondok.

d. Pengukuran Indeks Stomata

Daun Eceng Gondok yang disiapkan di cuci dengan air mengalir kemudian dikeringkan dengan dengan tisu. Daun yang sudah kering dikelupas/diambil perlahan dengan menggunakan pinset pada bagian atas daun lalu ditempelkan pada kaca objek dan diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran (10x10 dan 40x10). Seluruh stomata dan sel epidermis yang tampak pada bidang pandang

dihitung dengan menggunakan rumus indeks stomata. Indeks stomata dihitung dengan rumus:

$$\text{Indeks stomata} = \frac{\text{Jumlah stomata}}{\text{Jumlah sel epidermis} + \text{jumlah stomata}}$$

3.6 Analisis Data

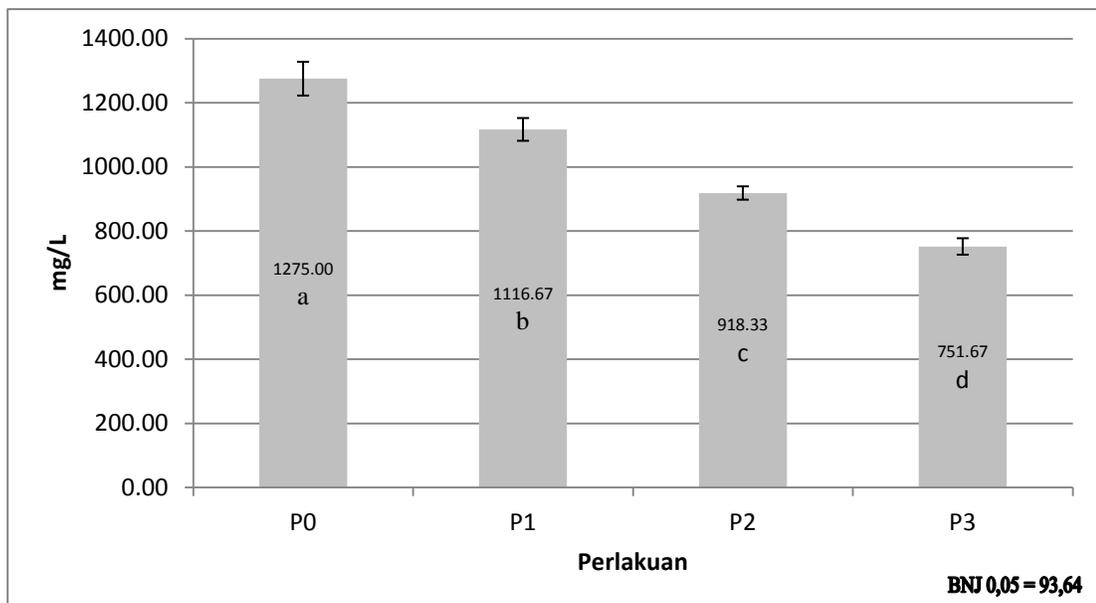
Data-data yang diperoleh dari hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan Analisis Ragam (uji F 0,05) yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ 0,05).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit setelah Proses Fitoremediasi

Data pengamatan rata-rata kadar BOD pada LCPKS yang diberi tanaman Eceng Gondok disajikan pada tabel lampiran 1a, sedangkan analisis ragamnya disajikan pada tabel lampiran 1b. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian Eceng Gondok dengan jumlah yang berbeda berpengaruh nyata terhadap penurunan BOD pada LCPKS. Rata-rata penurunan kadar BOD pada LCPKS disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Kadar BOD pada LCPKS setelah diberi Eceng Gondok

Gambar 3 menunjukkan bahwa pemberian Eceng Gondok dengan perlakuan yang semakin meningkat terlihat secara nyata menurunkan kadar BOD (mg/L), nilai

rata-rata terendah terlihat pada P₃ (15 rumpun Eceng Gondok) yaitu sebesar 751,67 mg/L dan nilai rata-rata tertinggi terdapat pada kontrol P₀ (0 rumpun Eceng Gondok) sebesar 27205 mg/L. Penurunan kadar BOD pada LCPKS setelah diberi eceng gondok sebesar 41,04%. Hasil uji BNJ 0,05 menunjukkan bahwa pada pemberian 15 rumpun Eceng Gondok berbeda nyata dengan perlakuan lainnya serta menunjukkan semakin tinggi jumlah Eceng Gondok yang diberikan maka kadar BOD pada LCPKS semakin menurun.

Terjadinya penurunan nilai BOD terkait dengan sifat Eceng Gondok yang dapat menurunkan nilai BOD. Penurunan yang sangat nyata ini dikarenakan Eceng Gondok memiliki kemampuan ganda yakni menyerap berbagai bahan organik dalam bentuk ion hasil pemecahan mikroorganisme juga membebaskan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk proses oksidasi. Oleh sebab itu, semakin banyak dan semakin lama waktu kontak Eceng Gondok, maka akan semakin banyak jumlah bahan organik dalam bentuk ion yang diserap sehingga berpengaruh pada tingkat penurunan BOD (Suardana, 2009).

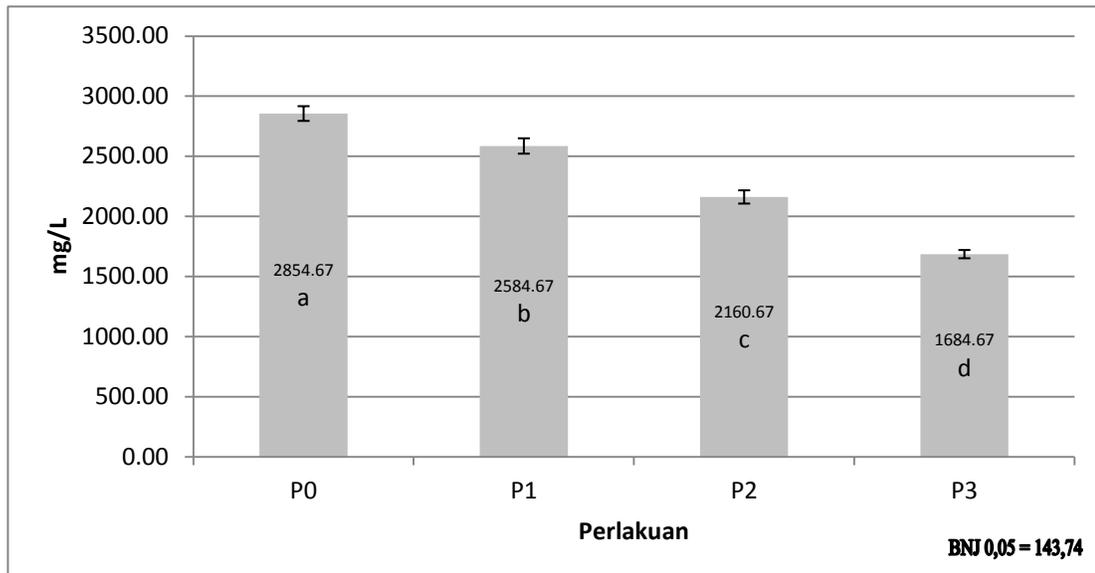
DeBusk (2001) menyebutkan bahwa tanaman lahan basah dapat menyerap kontaminan yang juga merupakan nutrisi penting bagi tanaman, selanjutnya Kansime dan Nalubega (1999) menjelaskan bahwa penyerapan unsur hara (bahan pencemar) berhubungan langsung dengan laju pertumbuhan tanaman, unsur hara akan diubah dan digunakan dalam produksi sel-sel baru selama pertumbuhan. Unsur hara diserap tanaman sebagai nutrisi untuk membantu pertumbuhannya. Mekanisme penurunan kadar pencemar organik seperti adsorpsi, nitrifikasi/denitrifikasi, juga berlangsung di

mana tanaman lahan basah secara tidak langsung menyediakan tempat bagi mikroorganisme yang terlibat dalam siklus dan degradasi pencemar organik dalam limbah. Penurunan BOD juga disebabkan oleh aktivitas tanaman yang melibatkan mikroorganisme untuk memecah senyawa organik dalam proses fitoremediasi (Kansiime dan Nalubega, 1999).

BOD merupakan parameter untuk mengetahui kebutuhan oksigen biologis untuk memecah bahan buangan di dalam air oleh mikroorganisme. Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD antara lain waktu yang memegang peranan penting dalam reaksi oksidasi, suhu yang merupakan faktor penting dalam pengolahan biologi (diatur konstan 20° C selama masa inkubasi) dan pH (dengan variasi pH 6,5-8,3) sedangkan nilai BOD perairan dipengaruhi oleh suhu, densitas plankton, keberadaan mikroba, dan jenis serta kandungan bahan organik (Wardhana, 2004).

4.2 Pengamatan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit setelah Proses Fitoremediasi

Hasil pengamatan rata-rata kadar COD pada LCPKS yang diberi Eceng Gondok selama 21 hari dapat dilihat pada tabel lampiran 2a, dan analisis ragamnya di sajikan pada tabel lampiran 2b. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis ragam dapat dilihat bahwa LCPKS yang telah diberi Eceng Gondok menunjukkan pengaruh nyata terhadap penurunan kadar CODnya. Rata-rata penurunan kadar COD pada LCPKS disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Kadar COD pada LCPKS setelah diberi Eceng Gondok

Gambar 4 menunjukkan bahwa pemberian Eceng Gondok dengan perlakuan dengan jumlah yang semakin meningkat terlihat secara nyata menurunkan kadar COD (mg/L), dengan nilai rata-rata terendah terlihat pada P₃ (15 rumpun Eceng Gondok) yaitu sebesar 1684,67 mg/L dan nilai rata-rata tertinggi terdapat pada P₀ (0 rumpun Eceng Gondok) sebesar 2854,33 mg/L. Penurunan kadar COD pada LCPKS setelah diberi eceng gondok sebesar 40,98%. Hasil uji BNJ 0,05 menunjukkan bahwa pada pemberian 15 rumpun Eceng Gondok berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, serta menunjukkan semakin tinggi jumlah Eceng Gondok yang diberikan maka kadar COD pada LCPKS semakin menurun. Hal ini semakin membuktikan bahwa Eceng Gondok efektif dalam mereduksi kadar COD dalam LCPKS.

Perbedaan nilai COD pada sampel setiap perlakuan dipengaruhi karena Eceng Gondok yang diberikan pada LCPKS bervariasi. Senyawa-senyawa organik

pada umumnya tidak stabil dan mudah teroksidasi secara biologis atau kimia menjadi senyawa stabil, antara lain menjadi CO₂ dan H₂O, proses inilah yang menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan akan menurun (Sugiharto, 1987 dalam Masittha, 2010).

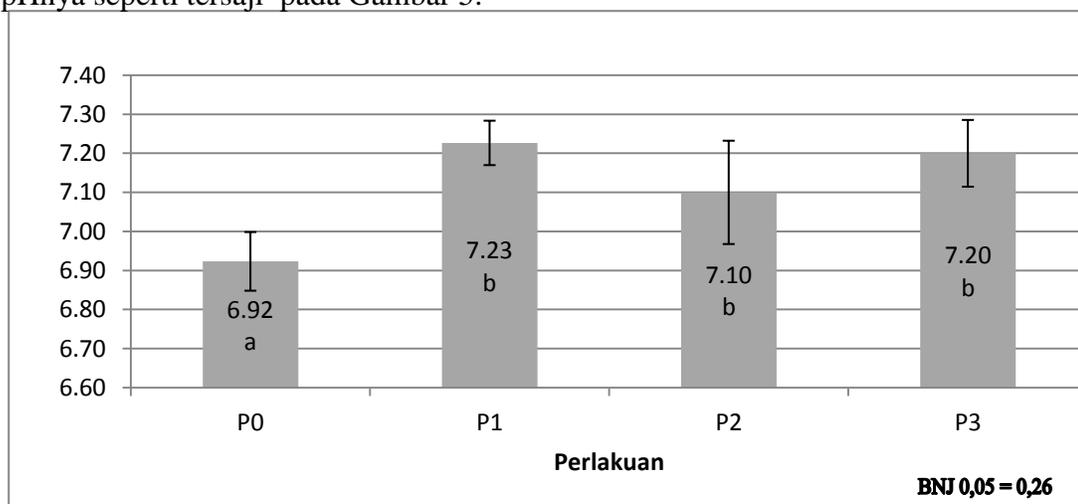
Hariadi (2004) menyatakan bahwa BOD dan COD diperlukan sebagai parameter dalam baku mutu air limbah atau sebagai parameter pencemaran perairan, karena peranannya sebagai penduga pencemaran bahan organik dan kaitannya dengan penurunan kandungan oksigen terlarut perairan (oksigen penting bagi kehidupan biota air dan ekosistem perairan pada umumnya). Peranan BOD dan COD bukan sebagai penentu, tetapi setara dengan parameter lainnya yang menjadi parameter kunci sehubungan dengan dugaan pencemaran oleh kegiatan tertentu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman Eceng Gondok dapat mengurangi kadar BOD dan COD dalam LCPKS disebabkan karena Eceng Gondok sebagai tumbuhan air melakukan fotosintesis selama 21 hari ditempatkan dalam LCPKS, perlu diketahui walaupun ditempatkan di dalam ruangan selama perlakuan tetapi tumbuhan Eceng Gondok mendapat cukup cahaya matahari pada siang hari, dan malam hari menggunakan lampu. Eceng Gondok tanaman terapung yang daunnya selain berada di permukaan juga ada yang berada didalam LCPKS, morfologi daun Eceng Gondok yang lebar mempunyai luas permukaan kontak yang besar sehingga mengandung klorofil lebih banyak, menyebabkan fotosintesis berjalan secara efisien, oleh karena itu hasil fotosintesis berupa oksigen dilepaskan ke dalam LCPKS

sehingga dapat meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dalam LCPKS yang kemudian menurunkan kadar BOD dan COD pada LCPKS.

4.3 Pengukuran Derajat Keasaman (pH) Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

pH adalah suatu ukuran untuk mengetahui banyaknya konsentrasi ion H^+ yang berada dalam suatu larutan. pH suatu larutan dapat dirumuskan dengan $pH = -\log [ion\ H^+]$. Dari rumus tersebut semakin besar nilai $[H^+]$ maka nilai pH semakin kecil dan sebaliknya. Selain ion H^+ nilai pH suatu larutan juga dipengaruhi oleh konsentrasi $[ion\ OH^-]$. pH suatu larutan dikatakan netral jika $[ion\ H^+] = [ion\ OH^-]$, bersifat asam jika konsentrasi ion $H^+ > ion\ OH^-$, basa jika ion $H^+ < ion\ OH^-$. Hasil pengukuran rata-rata nilai pH LCPKS setelah diberi Eceng Gondok disajikan pada tabel lampiran 3a dan analisis ragamnya juga di tampilkan pada tabel lampiran 3b. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis ragam dapat dilihat bahwa LCPKS yang telah diberi Eceng Gondok berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap perubahan nilai pHnya seperti tersaji pada Gambar 5.

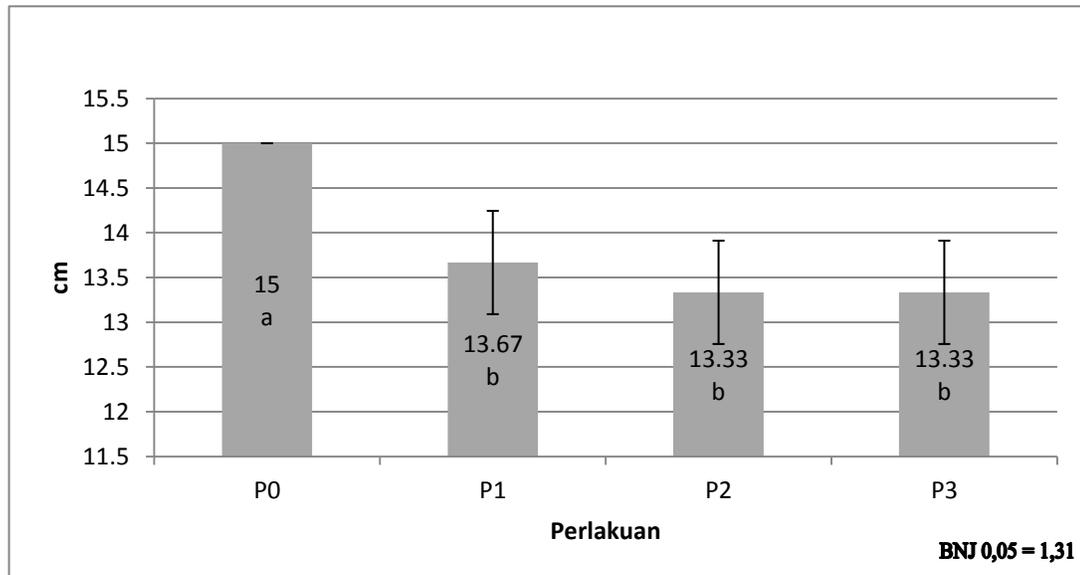


Gambar 5. Grafik Rata-Rata Nilai pH LCPKS Setelah Diberi Eceng Gondok

Gambar 5 menunjukkan bahwa pemberian Eceng Gondok pada LCPKS memberikan perubahan pada nilai pH dari LCPKS. Perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok tidak berbeda dengan perlakuan 10 dan 15 rumpun, tetapi berbeda dengan perlakuan kontrol (tanpa Eceng Gondok). Adanya kecenderungan perubahan nilai pH diduga terkait dengan adanya Eceng Gondok dalam LCPKS memberikan kondisi yang optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme pengurai, khususnya yang menempel pada bagian akar dan batang Eceng Gondok dalam air. Proses pemecahan bahan organik tersebut akan menghasilkan karbondioksida (CO_2) di mana CO_2 merupakan gas yang bersifat asam (*acidic gas*) sehingga CO_2 yang dihasilkan dari pemecahan bahan organik tersebut akan menetralkan nilai pH air limbah (Suardana, 2009). Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah < 4 sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi terhadap pH rendah (Ratnani, 2011).

4.4 Pengukuran Tinggi Akhir Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Hasil pengukuran rata-rata tinggi LCPKS setelah proses fitoremediasi tersaji pada tabel lampiran 4a dan analisis ragamnya juga di tampilkan pada tabel lampiran 4b. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis ragam dapat dilihat bahwa pemberian Eceng Gondok dalam box yang berisi LCPKS berpengaruh terhadap perubahan tinggi akhir limbah cair seperti tertera pada Gambar 6.

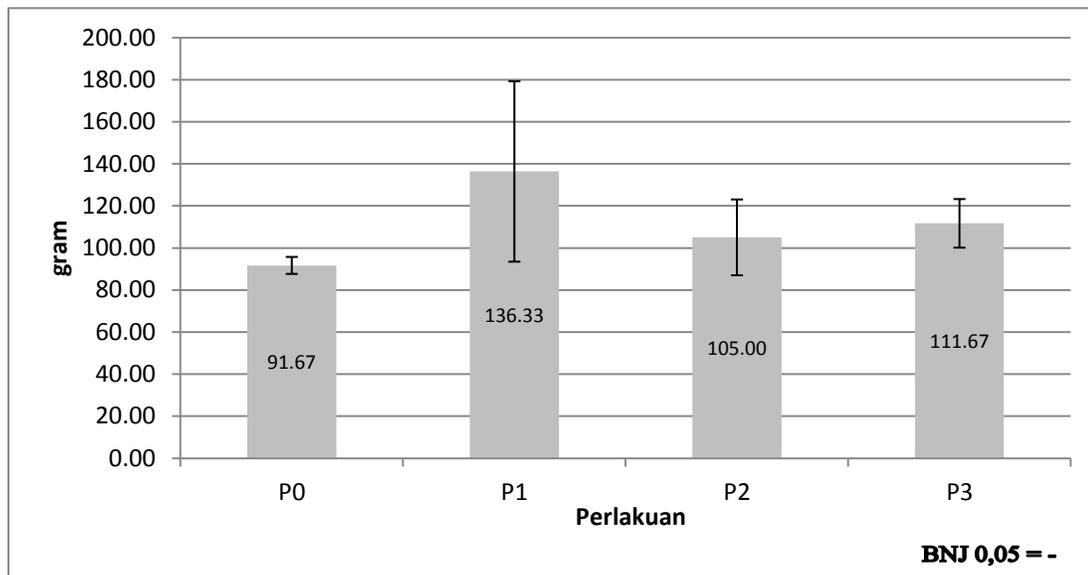


Gambar 6. Grafik Rata-Rata Tinggi Akhir LCPKS

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa perlakuan kontrol atau tanpa Eceng Gondok berbeda nyata dengan 3 jenis perlakuan yang diberikan, yaitu 5, 10, dan 15 rumpun Eceng Gondok. Tinggi limbah cair mengalami penurunan dari tinggi awal 15 cm hingga 13.67 cm pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok, kemudian mengalami penurunan kembali pada perlakuan 10 dan 15 rumpun Eceng Gondok menjadi 13.33 cm, dari hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan jumlah rumpun Eceng Gondok tidak berpengaruh terhadap tinggi akhir LCPKS. Sedangkan pada box yang tidak ditempati Eceng Gondok tinggi limbah cair tetap sama yaitu 15 cm. Hal ini menunjukkan bahwa selama 21 hari limbah cair diserap oleh Eceng Gondok sebagai bagian dari proses metabolismenya (Rukmi, 2013).

4.5 Pengukuran Berat Basah Eceng Gondok setelah Proses Fitoremediasi

Hasil pengukuran rata-rata berat basah Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS disajikan pada tabel lampiran 5a dan analisis ragamnya juga di tampilkan pada tabel lampiran 5b. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis ragam dapat dilihat bahwa pemberian Eceng Gondok pada LCPKS tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan berat basah Eceng Gondok, namun ada kecenderungan peningkatan pada berat basah Eceng Gondok. Rata-rata perubahan berat basah Eceng Gondok disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Berat Basah Eceng Gondok

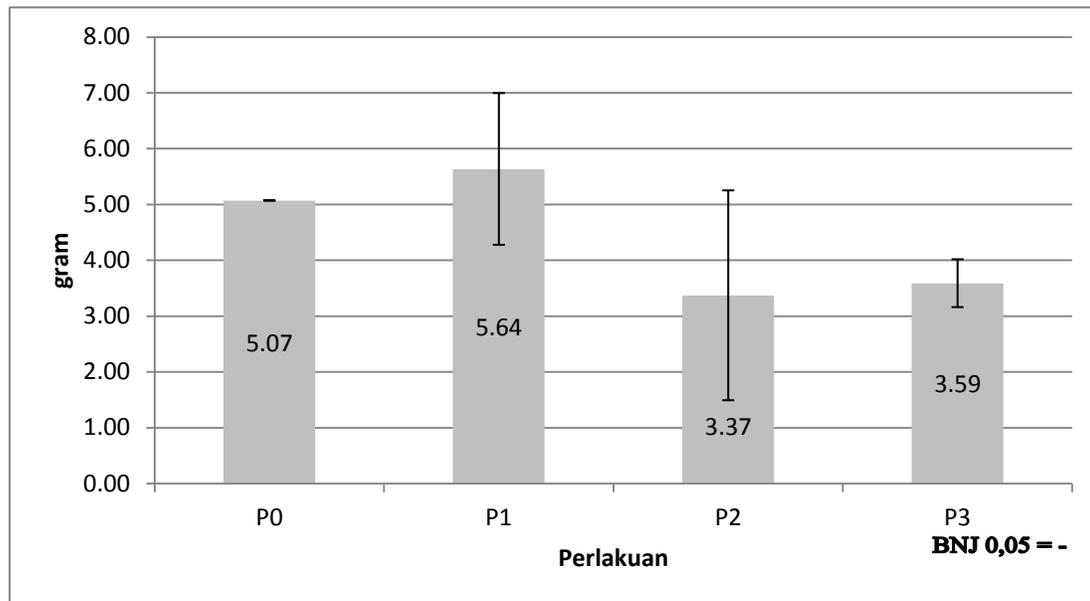
Gambar 7 menunjukkan bahwa terdapat peningkatan berat basah Eceng Gondok pada saat pra-penelitian (hari 0/sebelum ditempatkan pada LCPKS) yaitu seberat 91,67 g dengan berat basah Eceng Gondok setelah proses fitoremediasi (hari 21) pada 3

perlakuan berbeda, yaitu sebesar 136,33 pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok, sebesar 105 g pada perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok, dan sebesar 111,67 g pada perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok.

Hal tersebut diduga karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan yaitu faktor eksternal yang berupa iklim dan kondisi media tanam. Sedangkan faktor lain yaitu faktor internal yaitu pengaruh genetik. Media tempat tumbuh tanaman dalam hal ini merupakan faktor yang mempengaruhi terhadap pertumbuhan tanaman. Media tempat tumbuh tanaman mempunyai pH yang berkisar antara 5,50 – 7,00 sehingga unsur hara yang diperlukan oleh tanaman Eceng Gondok ini lebih tersedia. Menurut Madkar dan Kurniadie (2003) bahwa pH optimum untuk pertumbuhan tanaman Eceng Gondok berada pada kisaran 5 – 8, meskipun Eceng Gondok dapat tumbuh pada media dengan pH 4 – 8 dan tumbuh optimal pada pH 6-7. Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok juga dipengaruhi oleh suhu (Pujawati, 2006).

4.6 Hasil Pengukuran Berat Kering Eceng Gondok setelah Proses Fitoremediasi

Hasil pengukuran rata-rata berat kering Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS disajikan pada tabel lampiran 6a dan analisis ragamnya juga di tampilkan pada tabel lampiran 6b. Rata-rata berat kering Eceng Gondok disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Rata-Rata Berat Kering Eceng Gondok

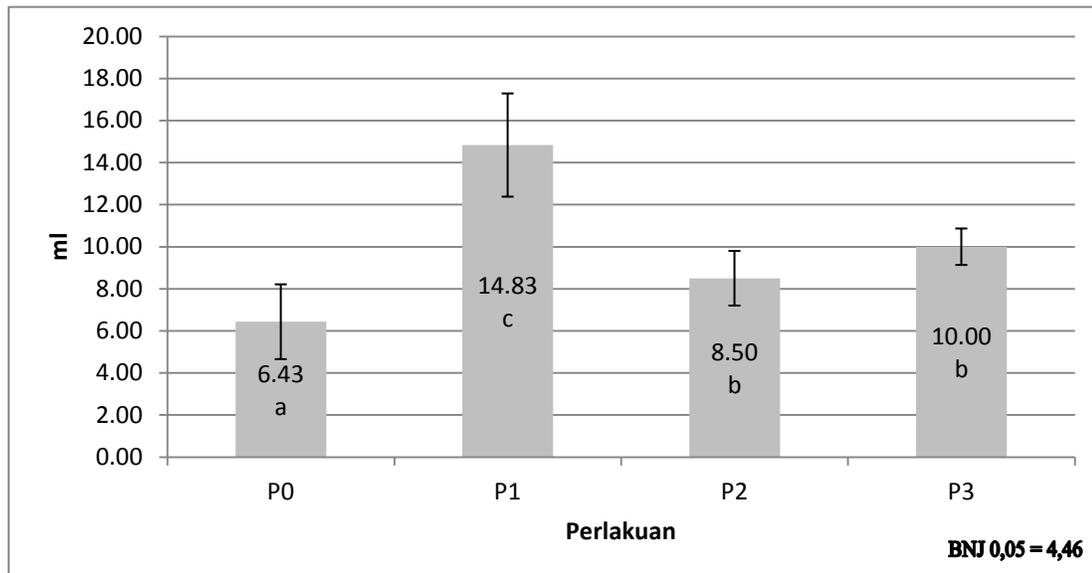
Gambar 8 menunjukkan bahwa terdapat variasi pada berat kering Eceng Gondok, sebelum ditempatkan pada LCPKS (pra-penelitian) berat kering Eceng Gondok sebesar 5,07 gr berbeda dengan berat basah Eceng Gondok setelah ditempatkan pada LCPKS selama hari 21 pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok yaitu sebesar 5,67 g, sebesar 3,37 g pada perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok, dan sebesar 3,59 g pada perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok.

Hal ini disebabkan karena media tanam Eceng Gondok dalam penelitian ini yaitu LCPKS bukan merupakan media tanam yang ideal menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis, sehingga kandungan senyawa-senyawa organik yang disintesis dari senyawa anorganik melalui proses fotosintesis akan berkurang (Aeni dkk, 2011).

Berat kering tanaman digunakan sebagai ukuran bagi pertumbuhan tanaman. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kandungan air pada jaringan tanaman sehingga berat yang diperoleh merupakan berat keseluruhan jaringan yang terbentuk dari proses metabolisme tanaman. Berat basah yang tinggi tidak selalu diikuti dengan berat kering yang tinggi. Berat kering tanaman menunjukkan bahan yang dibentuk yaitu berupa polisakarida dan lignin pada dinding sel ditambah komponen sitoplasma seperti protein, lipid dan asam amino. Sedangkan berat basah sangat dipengaruhi ketersediaan air pada media serta kondisi suhu dan kelembaban udara (Salisbury dan Ross, 1991).

4.7 Pengukuran Volume Akar Eceng Gondok setelah Proses Fitoremediasi

Hasil pengukuran rata-rata volume akar Eceng Gondok sebelum dan setelah ditempatkan dalam LCPKS disajikan pada tabel lampiran 7a dan analisis ragamnya di tampilkan pada tabel lampiran 7b. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian Eceng Gondok berpengaruh nyata terhadap volume akar Eceng Gondok. Hasil rata-rata pengukuran volume akar pada Eceng Gondok disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Rata-Rata Volume Akar Eceng Gondok

Gambar 9 menunjukkan rata-rata volume akar setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS, perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok mempunyai rata-rata volume akar Eceng Gondok terbesar yaitu 14.83 ml dibandingkan dengan perlakuan lainnya yang lainnya, pada perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok volume akar 8,50 ml, dan volume akar 10,00 ml pada perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok. Sedangkan pada pra penelitian (hari 0 atau sebelum rumpun Eceng Gondok dimasukan kedalam box berisi LCPKS) merupakan rata-rata berat kering Eceng Gondok terendah yaitu seberat 6.43 ml.

Penempatan Eceng Gondok di dalam box yang berisi LCPKS dapat meningkatkan volume akar, hal ini sesuai dengan uji lanjut menghasilkan nilai BNJ sebesar 2.30, yang menunjukkan ada perbedaan nyata dalam perhitungan volume akar sebelum dan sesudah perlakuan, bahwa dalam 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Eceng Gondok dapat tumbuh dengan pesat. Perbedaan rumpun Eceng Gondok pada tiap box terhadap volume akar menunjukkan hasil berbeda nyata terhadap Eceng Gondok sebelum ditempatkan pada LCPKS.

Akar merupakan organ tanaman yang berfungsi sebagai alat penyerapan air dan hara mineral dari medium habitatnya. LCPKS sebagai media tumbuh dalam penelitian ini tidak hanya mengandung logam berat tetapi juga mengandung hara yang berguna bagi tanaman, diduga adanya magnesium dan kalium serta tingkat BOD dan COD yang tinggi dalam LCPKS dapat ditolerir Eceng Gondok sehingga tetap tumbuh dan beradaptasi dengan media tumbuh tersebut. Adanya perbedaan nyata pada perlakuan 5 rumpun terhadap 10 dan 15 rumpun Eceng Gondok merupakan akibat dari kompetisi dalam penyerapan unsur hara. Semakin banyak Eceng Gondok dalam media tanam yang terbatas jumlahnya, semakin mempersulit penyerapan zat hara yang berdampak pada perkembangan volume akarnya.

Menurut Moore (1989) auksin berpengaruh pada perkembangan akar terutama ujung meristem dengan cara metabolisme dinding sel, sehingga plastisitas mikrofibril selulosanya relatif sama. Unsur-unsur hara tanaman seperti N, P dan K cukup tersedia pada limbah-limbah tersebut, sehingga energi untuk pembelahan mitosis dan pemanjangan sel cukup. Penyerapan dapat berlangsung secara simplas maupun apoplas. Pengaruh toksik dari limbah tidak terlihat dan enzim-enzim tetap bekerja tanpa hambatan yang berarti (Haryanti dkk, 2010).

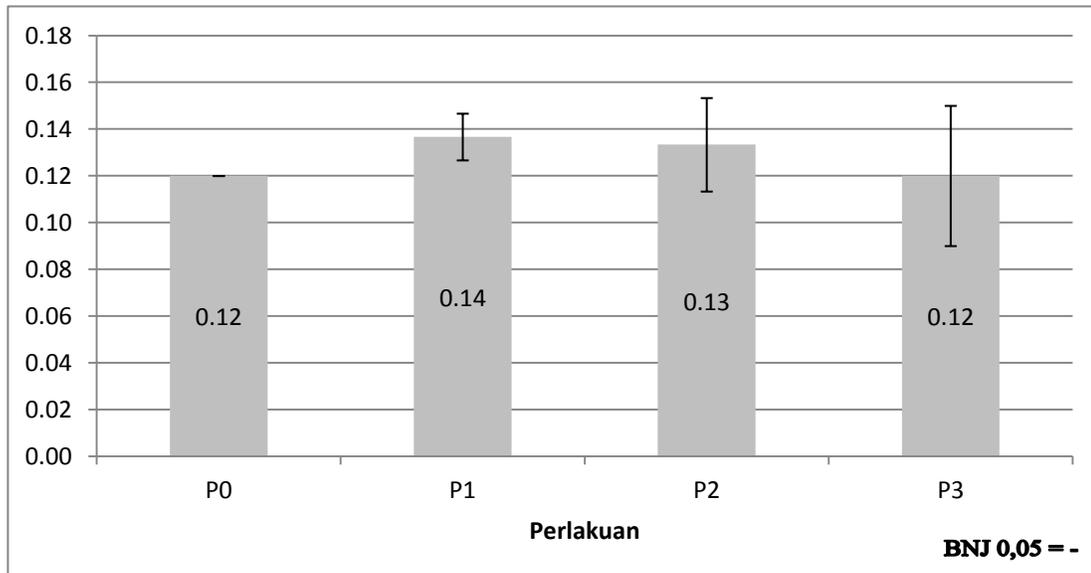
Akar tumbuhan Eceng Gondok berperan penting pada proses fitoremediasi, untuk mengurangi atau menyerap polutan di air limbah adalah merupakan fungsi

dari akar. Tumbuhan Eceng Gondok memiliki akar yang banyak dan panjang sehingga luas permukaan kontak antara air limbah dengan akar semakin besar (Stefhany, 2013). Kemampuan eceng gondok sebagai biofilter dikarenakan adanya mikroba rhizosfera pada akar dan didukung oleh daya adsorpsi serta akumulasi yang besar terhadap bahan pencemar tertentu.

Bahan organik maupun anorganik termasuk logam berat yang terlarut di dalam air dapat direduksi oleh mikroba rhizosfera yang terdapat pada akar Eceng Gondok dengan cara menyerapnya dari perairan dan sedimen kemudian mengakumulasi bahan terlarut ini ke dalam struktur tubuhnya. Akan tetapi jika kehadiran Eceng Gondok sudah melebihi ambang batas yang dapat ditoleransi lingkungan perairan, maka justru akan mencemari lingkungan tersebut (Rukmi, 2013).

4.8 Pengukuran Indeks Stomata Daun Eceng Gondok setelah Proses Fitoremediasi

Hasil rata-rata pengukuran indeks stomata pada daun Eceng Gondok sebelum dan setelah ditempatkan dalam LCPKS disajikan pada tabel lampiran 8a, dari hasil analisis ragam yang disajikan pada tabel lampiran 8b menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh terhadap indeks stomata Eceng Gondok. Indeks Stomata Eceng Gondok setelah proses fitoremediasi selama 21 hari disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Rata-Rata Indeks Stomata Eceng Gondok

Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat variasi pada indeks stomata daun Eceng Gondok, pada Eceng Gondok pra-penelitian (hari 0) yaitu sebesar 0,12 dan indeks stomata daun Eceng Gondok setelah proses fitoremediasi (hari 21) ditempatkan dalam LCPKS yaitu sebesar 0,14 pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok, sebesar 0,13 pada perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok, dan 0,12 pada perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok. Perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok memberikan angka lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

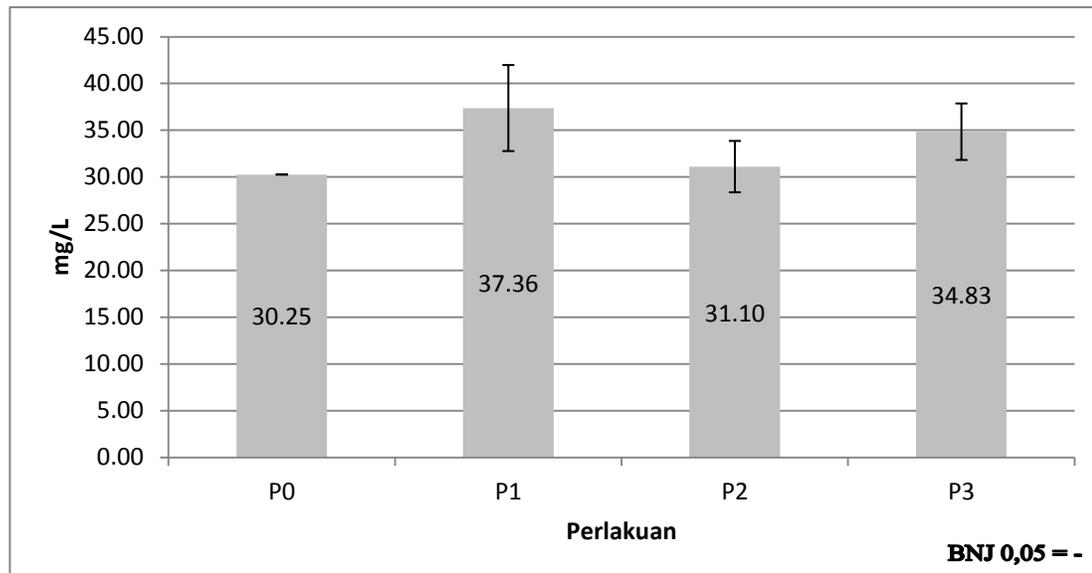
Peningkatan jumlah epidermis dan stomata serta peningkatan indeks stomata merupakan salah satu respon tanaman terhadap cekaman tertentu seperti polutan misalnya (Satolom, 2013). Indeks stomata dan densitas stomata menunjukkan

adaptasi tumbuhan terkait dengan transpirasi dan aktivitas fotosintesis (Rindyastuti dan Hapsari, 2017).

Indeks stomata dapat mempengaruhi dua proses penting pada tanaman yaitu fotosintesis dan transpirasi. Menurut Miskin *etal.*, (1972) tanaman "barley" yang mempunyai kerapatan stomata yang tinggi akan memiliki laju transpirasi yang lebih tinggi daripada tanaman dengan indeks stomata yang rendah. Perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok menghasilkan indeks stomata yang lebih tinggi dibanding perlakuan 10 dan 15 rumpun disebabkan karena pada perlakuan 5 rumpun jumlah Eceng Gondok lebih sedikit sehingga kompetisi antar tumbuhan Eceng Gondok untuk melakukan proses transpirasi tidak seberat kompetisi antar tumbuhan Eceng Gondok pada perlakuan 10 dan 15 rumpun Eceng Gondok.

4.9 Hasil Pengukuran Kadar Klorofil Daun Eceng Gondok setelah Proses Fitoremediasi

Rata-rata kadar klorofil pada daun Eceng Gondok sebelum dan setelah ditempatkan dalam LCPKS disajikan pada tabel lampiran 9a, kemudian hasil dari analisis ragam disajikan pada tabel lampiran 9b menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh terhadap kadar klorofil daun Eceng Gondok. Rata-rata kadar klorofil daun Eceng Gondok setelah proses fitoremediasi disajikan dalam grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Rata-Rata Kadar Klorofil Eceng Gondok

Gambar 11 menunjukkan bahwa terdapat variasi pada kadar klorofil (mg/L) pada Eceng Gondok sebelum ditempatkan pada LCPKS (P0) yaitu sebesar 30,25mg/L dan kadar klorofil daun Eceng Gondok setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS yaitu sebesar 37,36 mg/L pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok, 31,1 mg/L pada perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok, dan 34,83 mg/L pada perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok. Perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok memberikan angka rata-rata kadar klorofil daun Eceng Gondok yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Klorofil adalah pigmen berwarna hijau yang terdapat dalam kloroplas bersama-sama dengan karoten dan xantofil pada semua makhluk hidup yang mampu melakukan fotosintesis.(SEAFast, 2012). Fotosintesis, yang terjadi di daun membutuhkan dua bahan utama yaitu CO₂ dan H₂O. Reaksi utama fotosintesis terjadi

di kloroplas dengan agen utamanya yakni klorofil. Pembentukan klorofil pada daun paling banyak dipengaruhi oleh cahaya matahari (Pratama dan Laily, 2008).

Djukri dan Purwoko (2003), mengemukakan bahwa luas permukaan daun akan mengefisiensikan penangkapan energi cahaya untuk fotosintesis secara normal pada kondisi intensitas cahaya rendah. Morfologi daun yang lebar pada beberapa tanaman air seperti *Ipomea.aquatica* dan *Nymphaea* sp., memungkinkan penangkapan cahaya yang optimal. Namun demikian, *R. maritima*, *Najas* sp., dan *M. spicatum* yang memiliki morfologi daun kecil dengan jumlah yang banyak, mampu mengoptimalkan penyerapan cahaya pada seluruh permukaan daunnya, sehingga kandungan klorofil totalnya tinggi. Bahkandengan morfologi daun *C. linum* yang berbentuk filamen, mampu mensintesis klorofil karena tubuhnya tersusun atas sel-sel yang mengandung kloroplas. Morfologi demikian memungkinkan penyerapan cahaya dapat terjadi pada seluruh sel-sel penyusun tubuhnya, sehingga seluruh sel akan mampu mensintesis klorofil. Akan tetapi, hal tersebut tidak berlaku untuk Eceng Gondok karena anatomi daunnya tersusun oleh jaringan dasar berupa parenkim udara (aerenkim) yang diduga jumlahnya lebih banyak bila dibandingkan dengan spesies tumbuhan akuatik lainnya. Aerenkim ini menjaga tumbuhan terapung agar tetap di atas permukaan air. Oleh karena itu, meskipun daun *E. crassipes* luas tetapi tidak kaya akan klorofil. (Kurniawan dkk, 2010).

4.10 Sifat Fisik LCPKS Setelah Proses Fitoremediasi



Gambar 12. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Setelah Proses Fitoremediasi

Dari gambar 12 terlihat perubahan warna yang sangat berbeda pada LCPKS pada tiap perlakuan. Pada gambar 7 warna LCPKS kontrol/P₀ (0 rumpun Eceng Gondok) terlihat sangat gelap. Hal ini mengindikasikan LCPKS yang tidak diberikan Eceng Gondok mengandung banyak partikel bahan tersuspensi sehingga menimbulkan warna gelap. Bahan-bahan yang menyebabkan warna gelap tersebut antara lain tanah, lumpur, bahan-bahan organik dan partikel-partikel kecil tersuspensi lainnya. Warna LCPKS setelah proses fitoremediasi tampak lebih jernih. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengendapan, penguraian serta penyerapan bahan organik oleh Eceng Gondok. Terdapat tingkat kejernihan yang berbeda pada tiap perlakuan, perlakuan 15 rumpun Eceng Gondok merupakan yang paling jernih jika disbanding 2 perlakuan lainnya. Perlakuan 10 rumpun Eceng Gondok

menunjukkan LCPKS yang lebih jernih dari perlakuan 5 rumpun, hal ini membuktikan bahwa jumlah rumpun Eceng Gondok yang berbeda pada setiap perlakuan mempengaruhi penyerapan partikel-partikel tersuspensi dalam LCPKS.

4.11 Kondisi Morfologis Eceng Gondok Setelah Ditempatkan pada LCPKS



Gambar 13. Kondisi Fisik Eceng Gondok Sebelum dan Sesudah Ditempatkan pada LCPKS

Gambar 13 menunjukkan bahwa dilihat dari kondisi morfologis tubuhan Eceng Gondok dapat diketahui bahwa Eceng Gondok dapat bertahan hidup pada LCPKS selama 21 hari tetapi Eceng Gondok sudah tidak efektif dalam melakukan penyerapan unsur-unsur dalam media tanamnya, hal ini ditandai dengan tumbuhan Eceng Gondok yang menunjukan beberapa perubahan fisik (Lampiran 11, Gambar 14), yakni batangnya menguning dan lama-kelamaan membusuk, daunnya juga mengering, serta terjadi penggumpalan pada akar Eceng Gondok. Pada Lampiran 11 (Gambar 13) terlihat terdapat perbedaan visual antara tumbuhan Eceng Gondok pada setiap

perlakuan, pada perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok tumbuhan Eceng Gondok hampir semuanya membusuk pada batang, daun mengering dan hampir mati.

Pada perlakuan 10 rumpun masih banyak daun yg tidak kering, begitu pula pada batangnya, perlakuan 15 rumpun menunjukkan masih ada Eceng Gondok yang segar walaupun tidak semuanya. Hal ini disebabkan karena jumlah Eceng Gondok mempengaruhi penyerapan zat-zat limbah. Berkaitan dengan penyerapan zat pencemar, perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok yang menunjukkan Eceng Gondok setelah perlakuan yang lebih tinggi tingkat kerusakannya disbanding perlakuan lainnya, karena penyerapan zat pencemar dalam box LCPKS hanya pada 5 rumpun tumbuhan Eceng Gondok sangat mengganggu proses metabolismenya. Sesuai dengan yang dikemukakan oleh Haryanti (2009), bahwa hal ini disebabkan oleh sintesis klorofil yang berkurang akibat hambatan metabolisme oleh kandungan zat pencemar pada limbah tersebut. Daun Eceng Gondok menunjukkan kekeringan pada tepi-tepinya. Hal ini diduga terjadi penghambatan metabolisme pada sel-sel tepi daun, sehingga kekurangan nutrisi dan akhirnya sel mati. Perlakuan fitoremediasi ini dilakukan di dalam ruangan yang terbuka kaca-kaca jendelanya, selain mendapat sinar matahari juga terdapat lampu untuk menjaga agar sistem metabolisme fotosintesis Eceng Gondok tetap dapat berjalan dengan baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) efektif dalam menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam Limbah Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS), makin banyak jumlah Eceng Gondok makin tinggi penurunan kadar BOD dan COD
2. Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart), Solms) mampu hidup dan beradaptasi saat ditumbuhkan dalam LCPKS adaptasi tumbuhan Eceng Gondok dilihat dari penampakan morfologi, berat basah dan berat kering, volume akar, indeks stomata serta kadar klorofil.

5.2. Saran

Eceng Gondok dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi ramah lingkungan karena dapat mereduksi kadar BOD dan COD pada LCPKS, Eceng Gondok juga dapat bertahan hidup dan tidak menunjukkan tanda-tanda stress saat ditempatkan pada LCPKS tetapi harus dikontrol dengan baik dalam pelaksanaannya karena Eceng Gondok dapat menyebabkan pendangkalan pada wilayah perairan.

DAFTAR RUJUKAN

- Aeni, R. N., Setyono, P., dan Utami, L. B. 2011. *Pengaruh Limbah Lumpur Minyak Mentah Terhadap Pertumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes (Mart .) Solms .)*. Ekosains, *III*(2), 88–104.
- Ajayi, T. O., and Ogunbayio, A. O. 2012. *Achieving Environmental Sustainability in Wastewater Treatment by Phytoremediation with Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes)*. *Journal of Sustainable Development*, *5*(7), 80–90.
- Andiese, V. W. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Metode Kolam Oksidasi-Liquid Waste Disposal Process With Oxidation Pond Method*. *Infrastruktur*, *1*(2), 103–110.
- APHA/AWWA/WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Standard Methods, 541. <https://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Ardiwinata RO. 1985. *Musuh Dalam Selimut Di Rawa Pening*. Kementerian Pertanian
- Azwir.2006. *Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar*. Diperoleh dari eprints.undip.ac.id/15421
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2015. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2015*. Nomor Publikasi 05130.1603. ISSN/ISBN :2301-6817. Jakarta.
- Bapedal. 1995. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/KepMenLH/10/1995*. Jakarta. Lampiran B.IV. <http://jdih.menlh.go.id>. Diakses 26 Maret 2017
- Boyd, C.E. 1990. *Water Quality In Ponds For Aquaculture*. Birmingham Publishing CO. Birmingham, Alabama: ix+482
- Chukwunonsoa, O. I., Fauziah, S. H., and Redzwan, G. 2014. *The Utilization of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) as Aquatic Macrophage Treatment System (AMATS) in Phytoremediation for Palm Oil Mill Effluent (POME)*. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, *13*(2), 31–47.
- DeBusk, T.A., and W.F. DeBusk. 2001. *Wetland for Water Treatment*. In D.M. Kent (Ed.), *Applied Wetlands Science and Technology* (pp. 243-279).

- Departemen Pertanian. 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Departemen Pertanian.
- Djukri, dan Purwoko, B. S. 2003. *Pengaruh Naungan Paranet Terhadap Sifat Toleransi Tanaman Talas (Colocasia seeculenta L. Schoot)*. Ilmu Pertanian, 10(2), 17–25.
- De Santo, R.S. 1978. *Concepts of Applied Ecology*. Heidelberg Science Library. Springer – Verlag, New York. 310 p
- Deublein, D. and Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Gostin, I. N. 2009. *Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(2), 57–63.
- Hardiyanti N, dan Suparni SR. 2007. *Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) (Studi Kasus Pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry)*. Jurnal Presipitasi; Maret: 2(1): 28
- Hariadi, S. 2004. *BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah*, (Pps 702), 1–12.
- Haryanti, S., S. Nintya, B. H. Rini, D. H. Endah, dan N. J. Yulita. 2009. *Respon Fisiologi dan Anatomi Eceng Gondok Eichornia crassipes di Berbagai Perairan Tercemar*. Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi Vol.10, No.1:30 - 40, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Diponegoro Semarang
- Hasim. 2003. *Eceng Gongok Pembersih Polutan Logam Berat*. Kompas dalam kolom Inspirasi. Jakarta
- Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2009, Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia;
- Joedodibroto, R. 1983. *Prospek Pemanfaatan Eceng Gondok dalam Industri Pulp dan Kertas*. Berita Selulosa. Edisi Maret 1983. Vol. XIX No. 1. Bandung. Balai Besar Selulosa.
- Jumin, H.B. 1992. *Ekologi Tanaman Suatu Pendekatan Fisiologis*. Rajawali Pers. Jakarta.

- Kansiime, F., and Nalubega, M. (1999). *Wastewater Treatment by Natural Wetland; The Nakubivo Swamp, Uganda [pdf]* (Dissertation defense, Board of Deans of Wageningen Agricultural University and the Academic Board of the International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering). Diperoleh dari <http://edepot.wur.nl/192727>. Karathanasis,
- Kaswinarni.F. 2007. *Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu*
- Kholidiyah, N. 2010. *Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes Solms) Sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo*. Skripsi. UIN Malang
- Kurniawan, M., Izzati, M., Nurchayati, Y. (2010) *Kandungan Klorofil, Karotenoid, dan Vitamin C pada Beberapa Spesies Tumbuhan Akuatik*. Buletin Anatomi dan Fisiologi Vol. XVIII, No. 1, Maret 2010
- Lestari, E. G. (2006). *The relation between stomata index and drought resistant at rice somaclones of Gajahmungkur, Towuti, and IR 64*. Biodiversitas, Journal of Biological Diversity, 7(1), 44–48. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070112>
- Madkar, O.R dan D. Kurniadie. 2003. *Identifikasi Dan Pertumbuhan Berbagai Gulma Air Sebagai Bahan Biofilter Penyaring Air Limbah*. Jurnal Bionatura. 5(2):79-87 Moenandir,
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. Jurnal (Online). <http://library.usu.ac.id>.
- Masittha, M., Iryani, D. A., Si, dan M., Nuraeni, F., (2010). *Efektivitas Eceng Gondok Terhadap Penurunan Kadar COD dan BOD pada Limbah Cair Industri Kembang Gula Lunak*
- Mays, W. 1996. *Water Resources Handbook*. Editor in Chief. McGraw Hill
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*. New Delhi: McGraw-Hill Book Company
- Miskin, E.K., D.C. Rasmusson, and D.N. Moss. 1972. *Inheritance and Physiological Effects of Stomatal Frequency in Barley*. Crop Science 12: 780-783.
- Moore, T.C. 1989. *Biochemistry and Physiology of Plant Hormone*. Second edition Springer. Verlag Inc. New York

- Novaviro. 2008. *Methane Recovery By KS Anaerobic Digester Technology For Palm Oil Mill Effluent*. Novaviro Technology SDN BHD. Malaysia
- Nugraheni P, dan Trihadaningrum, Y. 2002. *Pengaruh Sifat Payau Dan Kesadahan Sumber Air oleh Eceng Gondok*. *Jurnal Kimia Lingkungan*. Vol.3, No.2
- Pandey, B. 1980. *An Introduction to Plant Anatomy*. S.Chand and Company Ltd. New Delhi. p: 159-201
- Pratama, A. J., dan Laily, A. N. 2008. *Analisis Kandungan Klorofil Gandasuli (Hedychium gardnerianum Shephard ex Ker-Gawl) pada Tiga Daerah Perkembangan Daun yang Berbeda*, 216–219.
- Pujawati, E. 2006. *Pertumbuhan Eceng Gondok (Eichornia crassipes Mart. Solm) Pada Air Bekas Penambangan Batubara*. (18): 94-103
- Rahardjo, P. N. 2006. *Teknologi Pengelolaan Limbah Cair Yang Ideal Untuk Pabrik Kelapa Sawit*. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 66–71.
- Rahardjo, P. N. 2009. *Permasalahan Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit*. Kedepatian: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
- Ratnani, R. D., Hartati, I., & Kurniasari, L. 2011. *Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Untuk Menurunkan Kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH , Bau , dan Warna Pada Limbah*, 41–47.
- Rindyastuti, R., dan Hapsari, L. 2017. *Adaptasi Ekofisiologi Terhadap Iklim Tropis Kering : Studi Anatomi Daun Sepuluh Jenis Tumbuhan Berkayu*. *Biologi Indonesia*, 13(1), 1–14.
- Rossiana, N Titin, dan Yayat, D. 2007. *Fitoremediasi Limbah Cair Dengan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) Dan Limbah Padat Industri Minyak Bumi Dengan Sengon (Paraserianthes falcataria L. Nielsen) Bermikroriza*. Laporan Penelitian. Universitas Padjajaran.
- Rukmi, D. P., dan Pujiati, R. S. (2013). *Efektivitas Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dalam Menurunkan Kadar Deterjen , BOD , dan COD pada Air Limbah Laundry (Studi di Laundry X di Kelurahan Jember Lor Kecamatan Patrang Kabupaten Jember)* The Effectiveness of Eichhornia crassipes to Decrea, 5.

- Rusmey, T 2009. *Korelasi Antara Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap pH, Total Suspended Solid (TSS), Alkalinitas Dan Minyak/ Lemak*. Tesis(Online) <http://repository.usu.ac.id>. Diakses 23 Maret 2017
- Salisbury, B. F. and C. W. Ross. 1991. *Fisiologi Tumbuhan Jilid I*. ITB. Bandung
- Septiana
- Saputra dan Prasetyo. 2005. *Kajian Teknologi CMC dari Eceng Gondok*. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan XV (3).
- Sari, A. M., Rachmadiarti, F., dan Fitrihidayati, H. 2014. *Pengaruh Cekaman Kromium pada Limbah Cair Batik terhadap Pertumbuhan Eichornia crassipes dan Salvinia molesta The Effect of Chromium in Liquid Waste of Batik on The Growth of Eichornia crassipes and Salvinia molesta*. Lentera Bio, 3(1), 67–71.
- Satolom, A. W., Kandowangko, N. Y., Dan, dan Katili, A. S. (2011). *Analisis kadar klorofil, indeks stomata dan luas daun tumbuhan mahoni (Swietenia macrophylla King.) pada beberapa jalan di Gorontalo*, 1–14.
- SEAFASST. (2012). *Hijau Klorofil. Pewarna Alami Untuk Pangan*, 58–69.
- Setiawati, E. (2004). *Kajian Enceng Gondok (Eichornia crassipes) Sebagai Fitoremediasi ¹³⁴Cs* 7(1), 11–15.
- Sheffield. 1997. *Water Hyacinth (Eichhornia crassipes): Invasive Nonindigenous Plants in Florida*. University of Florida, IFAS, Center for Aquatic Plants. Florida. <http://aquat1.ifas.ufl.edu/hyacin2.html>
- Stefhany, Cut Ananda. dkk. (2013). *Fitoremediasi Fosfat dengan menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) pada Limbah Cair Industri kecil Pencucian Pakaian (Laundry)*. Reka Lingkungan Jurnal Institut Teknologi Nasional, 1(1), 1–11.
- Suardana, I. 2009. *Eceng Gondok Sebagai Teknik Alternatif Dalam Pengolahan Air Limbah Asal Rumah Pemotongan Hewan (RPH)* Denpasar. Berita Biologi, 9(September), 759–766.
- Subroto, M.A. 1996. *Fitoremediasi Dalam Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan*. Cibinong
- Sumirat, U. dan Solehudin, A. 2009. *“Nitrous Oksida(N₂O) Dan Metan (CH₄) Sebagai Gas Rumah Kaca”*. Jurnal Universitas Pendidikan Indonesia 7:2.

- Syahrul M. 1998. *Pengaruh Waktu dan pH Terhadap Pengikatan Logam Berat Cd, Hg, dan Pb Oleh Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. Disertasi IPBUH
- Taufiq, M. 2010. *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dengan Metode Filterisasi Untuk Menurunkan Kandungan BOD dan COD Pada Limbah Cair RSUD Undata Palu*. Tugas Akhir Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Palu
- Tosepu, R. 2012. *The Diminution Rate Of Heavy Metals, Plumbum And Cadmium By Eichornia Crassipes And Cyperus Papyrus*. *Maret*, 19(1), 37–45. <https://doi.org/10.5539/elt.v3n2p135>
- Umaly, R, C and Ma, L.A, Culvin. 1988. *Limnology : Laboratory and Field Guide. Physico-Chemical Factor, Bacteriological Factor*. National Book Store, Inc Publisher
- Wardhana WA. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi Revisi*. Yogyakarta:Yogyakarta.
- Wricke, G, and W.F. Weber. 1986. *Quantitative Genetic and Selection in Plant Breeding*. New York: Walter de Gruyter.



UNTAD

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS TADULAKO
PROGRAM PASCASARJANA

Kampus Bumi Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Telp. : (0451) 429478 / 455961
Email: pasca@untad.ac.id
Palu - Sulawesi Tengah 94118

Nomor : 4490/ UN28.4/TU/2017
Lampiran : -
Perihal : Izin Melakukan Penelitian

Widyani *B. 1/4/17.*

Kepada Yth
Pimpinan PT Manakara Unggul Lestari
di-
Mamuju

Dengan Hormat,

Dalam rangka penyelesaian studi mahasiswa di bawah ini :

Nama : Mutmainah
Nomor Stambuk : E 202 16 017
Program Studi : Ilmu-Ilmu Pertanian

Maka yang bersangkutan akan melakukan penelitian dengan judul :

Efektivitas dan Adaptasi Tumbuhan Eceng Gondong (*Eichhornia crassipes*) dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PT Manakara Unggul Lestari di Mamuju Utara Sulawesi Barat

Untuk maksud tersebut, mohon kerja sama Bapak/Ibu untuk mengizinkan mahasiswa tersebut mengambil data/sampel di Instansi yang Bapak/Ibu pimpin.

Atas perhatian dan kerja sama yang baik, diucapkan terima kasih.

Wakil Direktur Bidang Akademik dan
Kemahasiswaan,


Prof. Dr. Ir. Saiful Darman, M.P
NIP. 19601126 198603 1 005

Tembusan Kepada Yth,:

1. *Arsip*



Your Ret

Our Ref

P.T. Manakarra Unggul Lestari

Kompleks Harmoni Plaza Blok E No. 15
Jl. Suryo Pranoto No. 2 Jakarta 10130
Indonesia
Telepon : (021) 6332058 (Hunting)
Fax. : (021) 6332088
Telex : 44174 Manakarra IA

No : 060/MUL-TM/IV/2017

Tommo, 1 April 2017

Kepada Yth,
Wakil Direktur Bidang Akademik dan Kemahasiswaan,
Pasca Sarjana Universitas Tadulako
Di - Palu

Perihal : Penyampaian

Dengan hormat,

Menunjuk surat Bapak Nomor 4490/UN28.4/TU/2017, perihal Permohonan Izin Penelitian, bahwa pada prinsipnya dapat kami setujui dengan syarat sebagai berikut :

1. Tempat tinggal dan Akomodasi ditanggung oleh Kampus /Mahasiswa yang bersangkutan.
2. Keamanan Mahasiswa/i yang melaksanakan Penelitian di Perusahaan bukan tanggung jawab Perusahaan.
3. Dosen Pembimbing senantiasa memantau Mahasiswa/i yang bersangkutan ditempat Penelitian.
4. Mahasiswa/i bersedia mengikuti tata tertib Perusahaan .

Demikian kami sampaikan kepada Bapak, terima kasih.

Hormat kami



Ir. Tonapa
Senior Manager

CC : - Mutmainnah
- Arsip/Jm



UNTAD

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS TADULAKO**

FAKULTAS PERTANIAN

LABORATORIUM ANALISIS SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN

Kampus Bumi Tadulako Tondo

Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Telp : (0451) 422611 – 429738 Fax: (0451) 429738

email: untad@untad.ac.id

Palu - Sulawesi Tengah 94114

LAPORAN HASIL UJI

Nama Pemesan : Mutmainah
Jenis Sampel : Air Payau
Tanggal Penerimaan : 5 Oktober 2017
Tanggal Analisis : 5 Oktober 2017
Lokasi Pengambilan : Mamuju
Pengantar Sampel : Mutmainah

No	Kode Sampel	Satuan	Hasil Analisa		Spesifikasi Metode
			COD	BOD ₅	
1	P0 U1	mg/L	2.888	1.270	Spektrofotometer dan Inkubasi
2	P0 U2	mg/L	2.892	1.330	Spektrofotometer dan Inkubasi
3	P0 U3	mg/L	2.784	1.225	Spektrofotometer dan Inkubasi
4	P1 U1	mg/L	2.582	1.085	Spektrofotometer dan Inkubasi
5	P1 U2	mg/L	2.522	1.110	Spektrofotometer dan Inkubasi
6	P1 U3	mg/L	2.650	1.155	Spektrofotometer dan Inkubasi
7	P2 U1	mg/L	2.182	895	Spektrofotometer dan Inkubasi
8	P2 U2	mg/L	2.202	925	Spektrofotometer dan Inkubasi
9	P2 U3	mg/L	2.098	935	Spektrofotometer dan Inkubasi
10	P3 U1	mg/L	1.670	745	Spektrofotometer dan Inkubasi
11	P3 U2	mg/L	1.724	780	Spektrofotometer dan Inkubasi
12	P3 U3	mg/L	1.660	730	Spektrofotometer dan Inkubasi

Catatan : - Hasil Uji berlaku untuk sampel yang diuji
- Laporan Hasil Uji terdiri satu halaman
- Hasil Uji ini tidak dapat digandakan kecuali secara lengkap dan seizin tertulis dari Laboratorium Penguji

Palu, 12 Oktober 2017
Kepala Laboratorium,


DR. ISRUN, SP. MP
NIP. 197112302005011001

Lampiran 1a. Hasil analisis kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian Eceng Gondok

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	1270.00	1330.00	1225.00	3825	1275.00	52,68
P1	1085.00	1110.00	1155.00	3350	1116.67	35,47
P2	895.00	925.00	935.00	2755	918.33	20,82
P3	745.00	780.00	730.00	2255	751.67	25,66
Total				12185	1015.42	

Lampiran 1b. Hasil analisis ragam kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) (mg/L) setelah pemberian Eceng Gondok

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		BNJ
					5%	1%	5%
Perlakuan	3	469872.92	156624.31	122,24 *	4,07	7.59	93,62
Galat	8	10250.00	1281.25				
Total	11	480122.92					KK = 3,53%

Keterangan : *Berpengaruh Nyata

Lampiran 1c. . Uji Lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) (mg/L) setelah pemberian Eceng Gondok

$$BNJ_{0,05} = t_{(\alpha/4;12)} \sqrt{\frac{KTG}{r}} \times 4,53 \sqrt{\frac{1281,25}{3}} \times 4,53 = 20,66 \times 4,53 = \mathbf{93,62}$$

Nilai dari tabel t	4,53
Nilai BNJ 5%	93,62
Nilai Rataan + Nilai BNJ	1015,42 + 93,62 = 1109,04
Nilai Rataan tertinggi - terendah	Notasi
P0 = 1275,00	a
P1 = 1116,67	b
P2 = 918,33	c
P3 = 751,67	d

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan perbedaan yang nyata (P<0,05)

Lampiran 2a. Hasil analisis kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) (mg/L) pada LCPKS setelah pemberian Gondok

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	2888.00	2892.00	2784.00	8564	2854.67	61,23
P1	2582.00	2522.00	2650.00	7754	2584.67	64,04
P2	2182.00	2202.00	2098.00	6482	2160.67	55,18
P3	1670.00	1724.00	1660.00	5054	1684.67	34,43
Total				27854	2321.17	

Lampiran 2b. Hasil analisis ragam kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) (mg/L) setelah pemberian Eceng Gondok

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		BNJ
					5%	1%	5%
Perlakuan	3	2354841.00	784947.00	259,86 *	4,07	7.59	143,74
Galat	8	24162.67	3020.33				
Total	11	2379003.67					KK = 22,37%

Keterangan : *Berpengaruh Nyata

Lampiran 2.c . Uji Lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) (mg/L) setelah pemberian Eceng Gondok

$$BNJ_{0,05} = t_{(\alpha/4;12)} \sqrt{\frac{KTG}{r}} \quad 4,53 \sqrt{\frac{3020,33}{3}} \times 4,53 = 31,72 \times 4,53 = \mathbf{143,73}$$

Nilai dari tabel t	4,53
Nilai BNJ 5%	143,73
Nilai Rataan + Nilai BNJ	2321,17 + 143,73 = 2464,90
Nilai Rataan tertinggi - terendah	Notasi
P0 = 2854,67	a
P1 = 2584,67	b
P2 = 2160,67	c
P3 = 1684,67	d

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan perbedaan yang nyata (P<0,05)

Lampiran 3a. Hasil analisis nilai pH Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) setelah pemberian Eceng Gondok

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	6,92	6,85	7	20,77	6,92	0,08
P1	7,18	7,29	7,21	21,68	7,23	0,06
P2	7,15	7,2	6,95	21,3	7,10	0,13
P3	7,21	7,28	7,11	21,6	7,20	0,09
Total				85,35	7,11	

Lampiran 3b. Hasil analisis ragam nilai pH Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) setelah pemberian Eceng Gondok

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		BNJ 5%	
					5%	1%		
Perlakuan	3	0,17	0,06	6,73	*	4,07	7,59	0,24
Galat	8	0,07	0,01					
Total	11	0,24				KK = 1,29%		

Keterangan : *Berpengaruh Nyata

Lampiran 3.c .Uji Lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) nilai pH LCPKS setelah pemberian Eceng Gondok

$$BNJ_{0,05} = t_{(\alpha/4; 12)} \sqrt{\frac{KTG}{r}} \quad 4,53 \quad \sqrt{\frac{0,01}{3}} \times 4,53 = 0,0577 \times 4,53 = \mathbf{0,26}$$

Nilai dari tabel t	4,53
Nilai BNJ 5%	0,26
Nilai Rataan + Nilai BNJ	7,11 + 0,26 = 7,37
Nilai Rataan tertinggi - terendah	Notasi
P0 = 6,92	a
P1 = 7,23	b
P2 = 7,10	b
P3 = 7,20	b

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$)

Lampiran 4a. Hasil pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah 21 hari

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	15	15	15	45	15,00	0
P1	13	14	14	41	13,67	0,58
P2	13	13	14	40	13,33	0,58
P3	13	13	14	40	13,33	0,58
Total				166	13,83	

Lampiran 4b. Hasil analisis ragam pengukuran tinggi akhir LCPKS setelah 21 hari

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		BNJ 5%
					5%	1%	
Perlakuan	3	5,67	1,89	7,56 *	4,07	7,59	1,31
Galat	8	2,00	0,25				
Total	11	7,67			KK = 3,61%		

Keterangan : *Berpengaruh Nyata

Lampiran 4c. Uji Lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) nilai pH LCPKS setelah pemberian Eceng Gondok

$$\text{BNJ } 0,05 = t_{(\alpha/4;12)} \sqrt{\frac{KTG}{r}} \times 4,53 \sqrt{\frac{0,25}{3}} \times 4,53 = 0,28 \times 4,53 = \mathbf{1,31}$$

Nilai dari tabel t	4,53
Nilai BNJ 5%	1,31
Nilai Rataan + Nilai BNJ	13,83 + 1,31 = 15,14
Nilai Rataan tertinggi - terendah	Notasi
P0 = 15,00	a
P1 = 13,67	b
P2 = 13,33	b
P3 = 13,33	b

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan perbedaan yang nyata (P<0,05)

Lampiran 5a. Hasil pengukuran Berat Basah Eceng Gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	94	87	94	89	91,67	4,04
P1	120	185	104	409	136,33	42,90
P2	100	90	125	315	105,00	18,03
P3	105	105	125	335	111,67	11,55
Total				1.148	111,17	

Lampiran 5b. Hasil analisis ragam Berat Basah Eceng Gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	19058,67	6352,89	1,87	tn	4,07 7.59
Galat	8	27198,00	3399,75			
Total	11	46256,67				KK = 52,45%

Keterangan : tn Berpengaruh Tidak Nyata

Lampiran 6a. Hasil pengukuran Berat Kering Eceng Gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	5,07	5,07	5,07	15,21	5,07	0
P1	4,76	7,20	4,95	16,90	5,64	1,36
P2	2,65	1,96	5,51	10,11	3,37	1,88
P3	4,03	3,18	3,56	10,76	3,59	0,43
Total				52,99	4,42	

Lampiran 6b. Hasil analisis ragam Berat Kering Eceng Gondok (gr) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		
					5%	1%	
Perlakuan	3	11,07	3,69	2,65	tn	4,07	7.59
Galat	8	11,12	1,39				
Total	11	22,19				KK = 5,61%	

Keterangan : tn Berpengaruh Tidak Nyata

Lampiran 7a. Hasil pengukuran Volume Akar Eceng Gondok (ml) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	8,00	4,50	6,80	19,30	6,433	1,78
P1	12,00	16,25	16,25	44,50	14,83	2,45
P2	10,00	7,75	7,75	25,50	8,50	1,30
P3	11,00	9,50	9,50	30,00	10,00	0,87
Total				119,3	9,94	

Lampiran 7b. Hasil analisis ragam Volume Akar Eceng Gondok (ml) setelah 21 hari ditempatkan dalam LCPKS

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel		BNJ
					5%	1%	
Perlakuan	3	114,96	38,32	13,19 *	4,07	7.59	4,46
Galat	8	23,24	2,91				
Total	11	138,20			KK = 5,41%		

Keterangan : *Berpengaruh Nyata

Lampiran 7.c .Uji Lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) nilai pH LCPKS setelah pemberian Eceng Gondok

$$BNJ_{0,05} = t_{(\alpha/4;12)} \sqrt{\frac{KTG}{r}} = 4,53 \sqrt{\frac{2,91}{3}} = 0,93 \times 4,53 = 4,46$$

Nilai dari tabel t	4,53
Nilai BNJ 5%	4,46
Nilai Rataan + Nilai BNJ	9,94 + 4,46 = 14,40
Nilai Rataan tertinggi - terendah	Notasi
P0 = 6,92	a
P1 = 7,23	c
P2 = 7,10	b
P3 = 7,20	b

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan perbedaan yang nyata (P<0,05)

Lampiran 8a. Hasil penghitungan Indeks Stomata pada daun Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS

Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	0,12	0,12	0,12	0,36	0,12	0
P1	0,14	0,13	0,14	0,41	0,14	0,01
P2	0,12	0,15	0,13	0,40	0,13	0,02
P3	0,11	0,15	0,10	0,36	0,12	0,03
Total				1,53	0,13	

Lampiran 8b. Hasil analisis ragam Indeks Stomata daun Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	0,00069	0,00023	0,95	tn 4,07	7.59
Galat	8	0,00193	0,00024			
Total	11	0,00263				KK = 0,04%

Keterangan : tn Berpengaruh Tidak Nyata

Lampiran 9a. Hasil pengukuran kadar Klorofil pada daun Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS

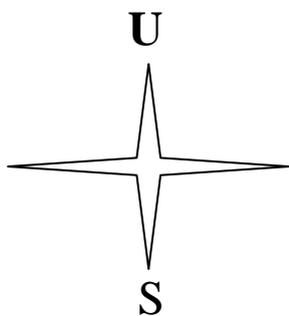
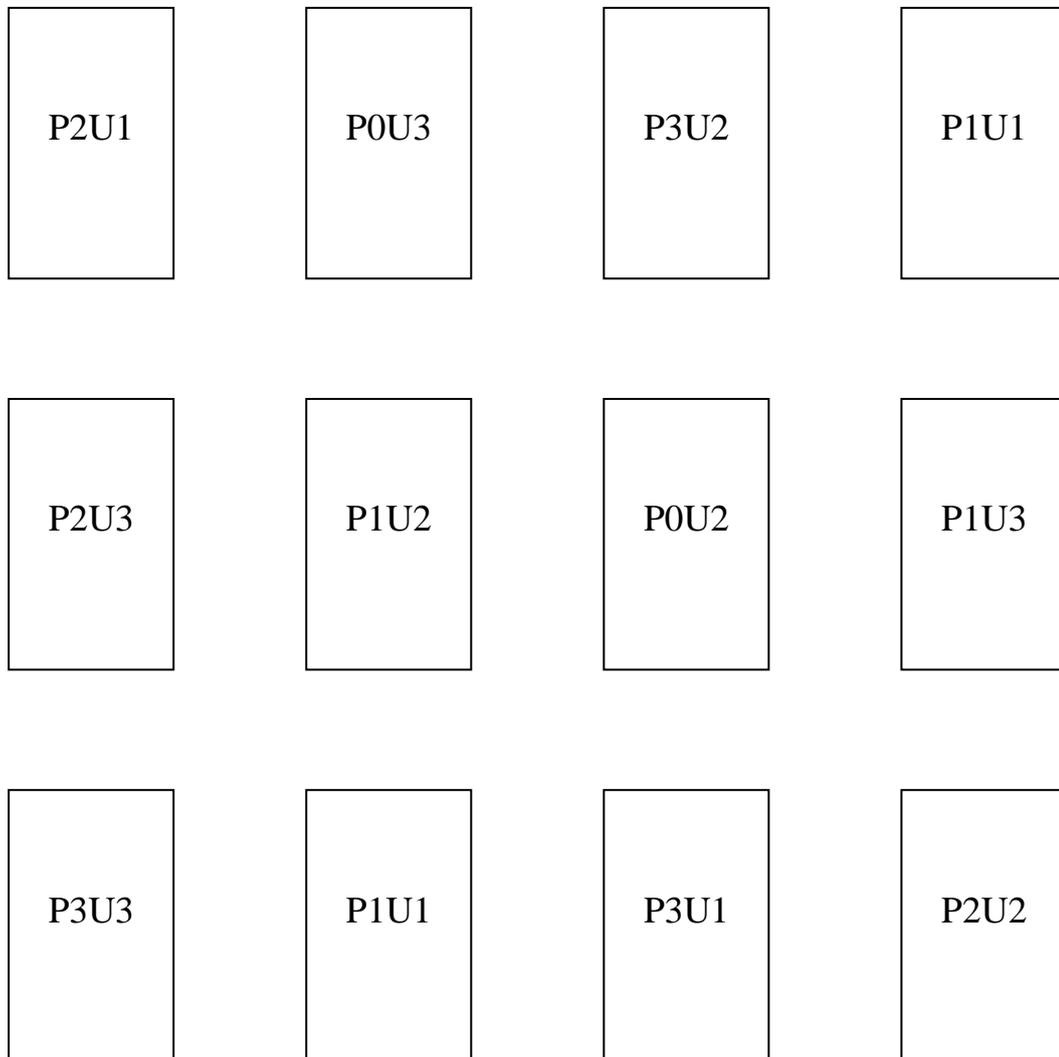
Perlakuan	1	2	3	Total	Rata-rata	SE
P0	30,25	30,25	30,25	90,75	30,25	0
P1	32,5	37,93	41,65	112,08	37,36	4,60
P2	28,05	31,85	33,39	93,29	31,10	2,75
P3	37,24	31,44	35,81	104,49	34,83	3,02
Total				400,61	33,38	

Lampiran 9b. Hasil analisis ragam kadar Klorofil pada daun Eceng Gondok setelah ditempatkan dalam LCPKS

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	Uji F-tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	98,86	32,95	3,48	tn	4,07
Galat	8	75,72	9,46			7.59
Total	11	174,58				KK = 5,32%

Keterangan : tn Berpengaruh Tidak Nyata

Lampiran 10. Desain Denah Penelitian



Lampiran 11 Foto Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Kolam Inlet Limbah Cair milik PT. Manakarra Unggul Lestari



Gambar 2. Kolam Pompa Limbah Cair milik PT. Manakarra Unggul Lestari



Gambar 3. Kolam Inlet Limbah Cair milik PT. Manakarra Unggul Lestari



Gambar 4. Kolam Aplikasi Limbah Cair milik PT. Manakarra Unggul Lestari



Gambar 5. Tumbuhan Eceng Gondok



Gambar 6. Tumbuhan Eceng Gondok



Gambar 7. Pengambilan Eceng Gondok



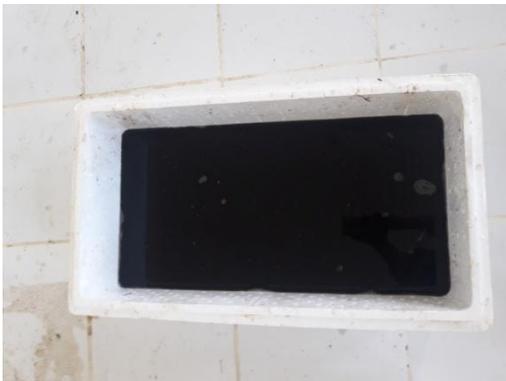
Gambar 8. Tumbuhan Eceng Gondok yang telah di ambil



Gambar 9. Penuangan Limbah ke dalam box



Gambar 10. Rata-rata ukuran Eceng Gondok yang digunakan dalam penelitian



Gambar 11. Limbah Cair sebelum di tambahkan Eceng Gondok



Gambar 12. Box-box Limbah Cair setelah di tambahkan Eceng Gondok



5 rumpun sebelum perlakuan



5 rumpun setelah perlakuan



10 rumpun sebelum perlakuan



10 rumpun setelah perlakuan



15 rumpun sebelum perlakuan



15 rumpun setelah perlakuan

Gambar 13. Perbandingan secara visual antara Eceng Gondok sebelum (hari 0) dan sesudah perlakuan (hari 21)



Gambar 14. Perbandingan secara visual morfologi Eceng Gondok sebelum dan sesudah kontak dengan limbah cair pabrik kelapa sawit



Gambar 15. Perbandingan secara visual LCPKS setelah kontak dengan Eceng Gondok selama 21 hari (proses fitoremediasi)



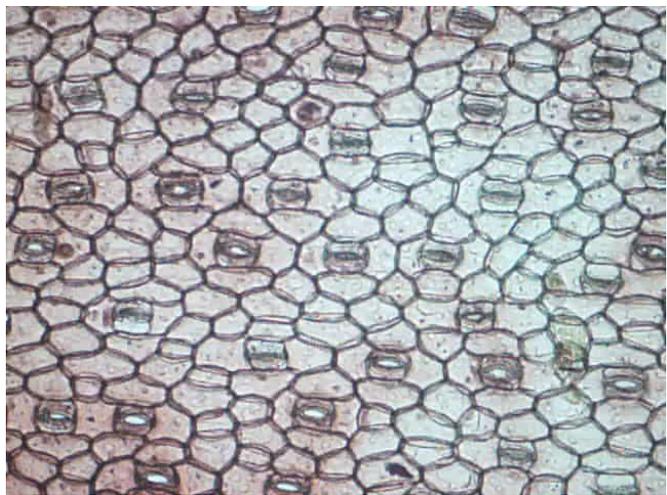
Gambar 16. Morfologi akar Eceng Gondok



Gambar 17. Pengukuran volume akar Eceng Gondok



Gambar 18. Ekstraksi Klorofil daun Eceng Gondok



Gambar 19. Sel Epidermis dan Sel Stomata pada daun Eceng Gondok

Lampiran 12. Biodata Penulis



MUTMAINAH, lahir di Palu, pada tanggal 03 Desember tahun 1991, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Jayadin, S.Sos dan Turu Salandra, SE. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Inpres Lolu VI INTI Palu pada tahun 1998. Kemudian melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Palu pada tahun 2004. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Palu. Pada tahun 2010 penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan di perguruan tinggi Universitas Tadulako melalui jalur PMDK dan terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam tahun 2010-2014. Kemudian pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan Strata 2 di Universitas Tadulako dan lulus pada Program Studi Ilmu-ilmu Pertanian Pascasarjana.