



DESAIN PENANGANAN AIR TAWAR TERCEMAR MINYAK BUMI PADA SISTEM LAHAN BASAH BUATAN SECARA KONTINU DENGAN TANAMAN

Lemna minor

@Hak cipta milik IPB University

FERRY FERNANDO



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Desain Penanganan Air Tawar Tercemar Minyak Bumi pada Sistem Lahan Basah Buatan Secara Kontinu dengan Tanaman *Lemna minor*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Ferry Fernando
F3401211076



ABSTRAK

FERRY FERNANDO. Desain Penanganan Air Tawar Tercemar Minyak Bumi pada Sistem Lahan Basah Buatan Secara Kontinu dengan Tanaman *Lemna minor*. Dibimbing oleh Mohamad Yani dan Anas Miftah Fauzi

Tumpahan minyak bumi di perairan tawar merupakan ancaman serius bagi ekosistem. Proyek desain utama ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem fitoremediasi lahan basah buatan (*constructed wetland*) kontinu menggunakan Tanaman *Lemna minor* untuk menangani air yang tercemar minyak bumi, serta membandingkan pengaruh perlakuan dengan dan tanpa *Bio-Oil Spill Dispersant* (Bio-OSD). Hasil dari Iterasi 1 yang menggunakan minyak jenis *medium* menunjukkan bahwa penambahan Bio-OSD bersifat sangat toksik dan melumpuhkan sistem biologis. Hasil pada Iterasi kedua menggunakan minyak jenis *light*, perlakuan tanpa Bio-OSD (L2) menunjukkan pertumbuhan biomassa positif dengan rata-rata pertumbuhan 42,28%. Sebaliknya perlakuan dengan Bio-OSD (L1) menunjukkan respons pertumbuhan terhambat dan biomasnya menurun 3,90%. Uji *in vitro* lebih lanjut mengkonfirmasi bahwa meskipun komunitas mikroorganisme dari kedua perlakuan mampu mendegradasi minyak, kesehatan dan toleransi Tanaman *Lemna minor* menjadi faktor kunci yang menentukan keberhasilan sistem fitoremediasi secara keseluruhan. Hasil iterasi ini menunjukkan bahwa sistem fitoremediasi alami lebih resilien, sementara penambahan Bio-OSD memberikan dampak toksik yang menghambat kinerja sistem.

Kata kunci : Bio-OSD, Fitoremediasi, Lahan Basah Buatan, *Lemna minor*, Minyak Bumi



@Hak Cipta IPB University

ABSTRACT

FERRY FERNANDO. Design of a Continuous Constructed Wetland System Using Lemna minor for Crude Oil-Contaminated Freshwater Remediation. Supervised by Mohamad Yani and Anas Miftah Fauzi

Crude oil spills in freshwater pose a serious threat to ecosystems. This design project aims to design and evaluate a continuous constructed wetland phytoremediation system using Lemna minor for the treatment of light crude oil-contaminated water, and to compare the effects of treatments with and without a Bio-Oil Spill Dispersant (Bio-OSD). Results from Iteration 1, which used medium crude oil, indicated that the addition of Bio-OSD was highly toxic and disrupted the biological system. In Iteration 2, which used light crude oil, the treatment without Bio-OSD (L2) demonstrated positive biomass growth with an average increase of 42.28%. In contrast, the treatment with Bio-OSD (L1) showed inhibited growth and a biomass reduction of 3.90%. In vitro tests further confirmed that while microbial communities from both treatments were capable of degrading oil, the health and tolerance of the Lemna minor plants emerged as the key factor for the overall success of the phytoremediation system. These findings suggest that the natural phytoremediation system is more resilient, whereas the addition of Bio-OSD has a toxic impact that hinders the system's performance.

Keywords : Bio-OSD, Crude Oil, Constructed Wetland, Lemna minor, Phytoremediation



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, Tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**DESAIN PENANGANAN AIR TAWAR TERCEMAR MINYAK BUMI PADA
SISTEM LAHAN BASAH BUATAN SECARA KONTINU DENGAN
TANAMAN *Lemna minor***

FERRY FERNANDO

Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Tajuddin Bantacut, M.Sc.
2. Prof. Dr. Ono Suparno, S.T.P., M.T.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tugas Akhir : Desain Penanganan Air Tawar Tercemar Minyak Bumi pada Sistem Lahan Basah Buatan Secara Kontinu dengan Tanaman *Lemna Minor*

Nama : Ferry Fernando

NIM : F3401211076

Disetujui oleh :

Pembimbing I :

Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M. Eng., IPM

Pembimbing II :

Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M. Eng.

Diketahui oleh :

Ketua Departemen :

Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP.,M.T.

NIP. 197212031997021001

Tanggal Ujian :

1 Agustus 2025

Tanggal Lulus :

20 Agustus 2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karuniaNya, sehingga laporan tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Laporan proyek desain utama yang berjudul “Desain Penanganan Air Tawar Tercemar Minyak Bumi pada Sistem Lahan Basah Buatan Secara Kontinu dengan Tanaman *Lemna Minor*” ini ditulis sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi di Program Sarjana di Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University. Terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Keluarga, khususnya kedua orang tua So Yuseng dan Bie Ling serta kedua saudara penulis Tommy Fernandes dan Veren Titania yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat.
2. Prof. Dr. Ir. Mohamad Yani, M.Eng., IPM, Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M. Eng., dan Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama pelaksanaan penelitian ini.
3. Dr. Dwi Febriantini selaku pembimbing lapang selama penelitian di PT Pertamina (Persero) *Research and Technology Innovation*, pihak *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC) dan Kedaireka yang telah membantu dalam memfasilitasi proyek desain utama ini.
4. Seluruh Dosen, Tenaga Pendidik, Laboran TIN, Tenaga SBRC, dan Leuwikopo yang telah mengajarkan banyak hal kepada penulis.
5. Rekan-rekan proyek penelitian Bio-OSD, terkhususnya Ichsan Kamil, Marshanda Caesaria, Salsabila Khalishah Indaryanto, Devia Nur Fauziah, dan Erizka Febiazni.
6. Baskara Putra atau Hindia yang selalu dan sudah menemani, memotivasi, dan menghibur penulis dari SMA hingga saat ini melalui karya-karyanya.
7. Kepada Faiza Rachma Maurizka, Siti Hoyrunnisa, Syekar Ayu Ghalbiyah, Raffa Sherly Renata, Frederico Akira, Fernandes Martiannus V, Octaviannus Nathanniel P, dan Zidane Jhoando, meskipun terkadang menyebalkan, terima kasih untuk selalu ada dan menghibur. Sukses selalu untuk kalian semua.
8. Kepada anggota tetap 9 naga, Rayden Fairlee, Felix Fernando, Steven Gilbert, Steven Nicholas Yang, dan Vincent yang selalu kebersamaan dan membantu penulis saat merantau.
9. Kepada teman-teman Sinabung dan teman-teman Keluarga Mahasiswa Buddhis IPB yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Semoga proyek desain utama ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Ferry Fernando



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR LAMPIRAN	iii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pencemaran Minyak Bumi Jenis <i>Light</i> dan <i>Medium</i>	4
2.2 Bio-OSD (<i>Bio-Oil Spill Dispersant</i>)	5
2.3 <i>Lemna Minor</i> dan Fitoremediasi	6
2.4 Lahan basah buatan	7
III. METODOLOGI	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Tahapan Desain Keteknikan	8
3.3.1 Fase Eksplorasi	9
3.3.2 Fase Pendefinisian Masalah	10
3.3.3 Fase Ideasi	10
3.3.4 Fase Pengembangan Prototipe	11
3.3.5 Fase Validasi	13
IV. PEMBAHASAN	14
4.1 Hasil Eksplorasi	14
4.2 Verifikasi Permasalahan dan Pernyataan Desain	14
4.3 Hasil Ideasi	14
4.3.1 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) Iterasi Pertama	15
4.3.2 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) dan pH Iterasi Pertama	17
4.3.3 Uji <i>Total Plate Count</i> (TPC) <i>Lemna minor</i> Iterasi Pertama	18
4.3.4 Simpulan Hasil Iterasi Pertama	19
4.4 Pengembangan Prototipe	20
4.4.1 Respon Pertumbuhan <i>Lemna minor</i>	21
4.4.2 Aktivitas Mikroorganisme <i>Lemna minor</i>	24
4.4.3 Kandungan Hidrokarbon (TPH)	30
4.5 Fase Validasi	32
V. SIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Simpulan	34

5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	38

DAFTAR TABEL

1 Komposisi elementer minyak bumi	4
2 Formulasi rancangan iterasi pertama	15
3 Hasil pengujian nilai COD iterasi pertama	16
4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) uji COD iterasi pertama	17
5 Formulasi rancangan iterasi kedua	20
6 Bobot basah dan kering pada iterasi kedua	21
7 Persentase perubahan, nilai RGR, dan produktivitas biomassa	22
9 Nilai kekeruhan pada media MSM	25
10 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) uji kekeruhan media MSM	26
11 Nilai kekeruhan pada media MSM L1 lanjutan	27
12 Nilai kekeruhan pada media MSM L2 lanjutan	28
13 <i>Analysis of Variance</i> uji kekeruhan L1 media MSM lanjutan	29
14 <i>Analysis of Variance</i> uji kekeruhan L2 media MSM lanjutan	29
15 Nilai TPH perlakuan L1 dan L2	30
16 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) uji kandungan hidrokarbon (TPH)	31
18 Validasi prototipe	32

DAFTAR GAMBAR

1 Diagram kerangka desain keteknikan	9
2 Komposisi dari lahan basah buatan	15
3 Pengaruh perlakuan DOR pada iterasi pertama terhadap nilai COD	16
4 Pengaruh perlakuan DOR pada iterasi pertama terhadap nilai DO	17
5 Pengaruh perlakuan DOR iterasi pertama terhadap pH	18
6 Hasil uji mikroorganisme TPC pada iterasi pertama	19
7 Rancangan kolam lahan basah buatan iterasi kedua	20
8 Pengamatan visual perlakuan L1 dengan DOR 0,5:1 (a) Daun <i>Lemna minor</i> (b) Batang dan akar <i>Lemna minor</i>	23
9 Pengamatan visual perlakuan L2 dengan DOR 0:1 (a) Daun <i>Lemna minor</i> (b) Batang dan akar <i>Lemna minor</i>	24
10 Pengaruh penambahan minyak bumi terhadap pertumbuhan mikroorganisme <i>Lemna minor</i>	25
11 Pengaruh penambahan minyak bumi dan Bio-OSD terhadap pertumbuhan mikroorganisme pada media MSM L1 lanjutan	27
12 Pengaruh penambahan minyak bumi dan Bio-OSD terhadap pertumbuhan mikroorganisme pada media L2 lanjutan	28
13 Pengaruh perlakuan L1 (DOR 0,5:1) dan L2 (DOR 0:1) terhadap nilai TPH	30

DAFTAR LAMPIRAN

1	Prosedur kerja uji lahan basah buatan iterasi pertama	38
2	Tampak visual hari pertama hingga hari ke-6 iterasi pertama	39
3	Prosedur kerja uji lahan basah buatan secara kontinu pada iterasi kedua	40
4	Detail perhitungan respon pertumbuhan <i>Lemna minor</i>	41
5	Perbandingan tampak visual perlakuan L1 dan L2	43
6	Tabel uji lanjutan <i>tukey</i> aktivitas mikroorganisme media MSM	52
7	Tabel uji lanjutan <i>tukey</i> aktivitas mikroorganisme L2 Lanjutan	53
8	Tampak visual uji aktivitas mikroorganisme media MSM pada H2 (a) L1, (b) L2, (c) L3, (d) L4, (e) Kontrol 1, dan (f) Kontrol 2	54
9	Tampak visual uji aktivitas mikroorganisme media MSM pada H8 (a) L1, (b) L2, (c) L3, (d) L4, (e) Kontrol 1, dan (f) Kontrol 2	55
10	Tampak visual aktivitas mikroorganisme media MSM lanjutan pada H0 (a) L1, (b) L1 OSD, (c) L1 <i>Crude</i> OSD, (d) L1 <i>Crude</i> , (e) L2, (f) L2 OSD, (g) L2 <i>Crude</i> OSD, dan (h) L2 <i>Crude</i>	56
11	Tampak visual aktivitas mikroorganisme media MSM lanjutan pada H8 (a) L1 <i>Crude</i> OSD, (b) L1 OSD, (c) L1 <i>Crude</i> , (d) L1, (e) L2 <i>Crude</i> OSD, (f) L2, (g) L2 <i>Crude</i> , dan (h) L2 OSD	56
12	Standar baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri petrokimia hulu	57
13	Prosedur uji <i>chemical oxygen demand</i> (COD) sesuai dengan SNI 6889.2.2019	58
14	Prosedur uji <i>total petroleum hydrocarbon</i> (TPH) sesuai dengan APHA ed. 23rd 5520 B, 2017	59
15	Perhitungan desain rancangan iterasi kedua	60