

OPTIMASI EFISIENSI TRANSFER OKSIGEN PADA AIR LIMPASAN *GREEN ROOF* MELALUI KOMBINASI FILTRASI DAN TEKNOLOGI *ULTRAFINE BUBBLE*

ANANDA RAIHAN ZAHRY



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



@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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Efisiensi Transfer Oksigen Pada Air Limpasan *Green Roof* Melalui Kombinasi Filtrasi Dan Teknologi *Ultrafine Bubble*” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Ananda Raihan Zahry
F4401221101



@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.

ABSTRAK

Ananda Raihan Zahry. Optimasi Efisiensi Transfer Oksigen Pada Air Limpasan *Green Roof* Melalui Kombinasi Filtrasi Dan Teknologi *Ultrafine Bubble*. Dibimbing oleh YUDI CHADIRIN dan ALLEN KURNIAWAN.

Air limpasan green roof berpotensi dimanfaatkan kembali, namun kualitasnya masih memerlukan pengolahan, terutama untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas filtrasi menggunakan pasir silika, karbon aktif, dan kerikil sebagai pre-treatment, mengevaluasi peningkatan DO selama aerasi menggunakan teknologi ultrafine bubble (UFB), serta mengembangkan model dinamika DO berdasarkan parameter koefisien transfer oksigen volumetrik (kLa) dan konstanta deoksigenasi (k_d). Penelitian dilakukan pada media tanpa vegetasi dan vegetasi krokot mawar dengan perlakuan filtrasi dan non-filtrasi pada durasi aerasi 30 dan 45 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filtrasi menurunkan nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) sebesar 16,4–17,4% dan meningkatkan DO maksimum hingga 13,0 mg/L. Model yang dikembangkan memiliki akurasi yang baik dengan nilai R^2 sebesar 0,794–0,998 dan RMSE sebesar 0,089–0,730 mg/L. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter C^* paling memengaruhi hasil prediksi model. Berdasarkan hasil pemodelan, kombinasi filtrasi, vegetasi krokot mawar, dan aerasi selama 30 menit merupakan kondisi operasi yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas air limpasan green roof.

Kata kunci : *green roof, ultrafine bubble, filtrasi, dissolved oxygen.*

ABSTRACT

Ananda Raihan Zahry. Optimization of Oxygen Transfer Efficiency of Green Roof Runoff Water through Combined Filtration and Ultrafine Bubble Technology. Supervised by YUDI CHADIRIN and ALLEN KURNIAWAN.

*Green roof runoff has the potential to be reused as an alternative water source; however, its quality still requires treatment, particularly to improve dissolved oxygen (DO) concentration. This study aimed to evaluate the effectiveness of silica sand, activated carbon, and gravel filtration as a pre-treatment process, assess DO enhancement using ultrafine bubble (UFB) aeration, and develop a dynamic oxygen model based on the volumetric oxygen transfer coefficient (kLa) and deoxygenation coefficient (k_d). Experiments were conducted using unvegetated and *Portulaca grandiflora* media under filtered and non-filtered conditions with aeration durations of 30 and 45 minutes. Filtration reduced Total Dissolved Solids (TDS) by 16.4–17.4% and increased the maximum DO concentration to 13.0 mg/L. The developed model showed good predictive performance with R^2 values of 0.794–0.998 and RMSE values of 0.089–0.730 mg/L. Sensitivity analysis identified C^* as the most influential model parameter. The optimal operating condition was filtration combined with *Portulaca grandiflora* vegetation and 30-minute aeration.*

Keywords : *green roof, ultrafine bubble, filtration, dissolved oxygen.*



@Hak cipta milik IPB University

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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
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.

OPTIMASI EFISIENSI TRANSFER OKSIGEN PADA AIR LIMPASAN *GREEN ROOF* KOMBINASI FILTRASI DAN TEKNOLOGI *ULTRAFINE BUBBLE*

ANANDA RAIHAN ZAHRY

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Sarjana Teknik Sipil dan Lingkungan

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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 Skripsi:

1. Ir. Tri Sudibyoy, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM



@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 Skripsi : Optimasi Efisiensi Transfer Oksigen Pada Air Limpasan Green
Roof Melalui Kombinasi Filtrasi Dan Teknologi Ultrafine Bubble

Nama : Ananda Raihan Zahry
NIM : F4401221101

@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.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Yudi Chadirin, S.TP, M.Agr.
NIP. 19740926 199903 1 004

Pembimbing 2:

Dr. Eng. Ir. Allen Kurniawan, S.T., M.T.
NIP. 19820729 201012 1 005



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Ir. Tri Sudibyo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
NIP. 19840530 201404 1 001



Tanggal Ujian:
10 Juli 2026

Tanggal Lulus: 29 JUL 2026

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2026 sampai bulan Mei 2026 ini ialah *Green Roof*, dengan judul Optimasi Efisiensi Transfer Oksigen Pada Air Limpasan *Green Roof* Melalui Kombinasi Filtrasi Dan Teknologi *Ultrafine Bubble*".

Ucapan terima kasih ditunjukkan kepada:

- a) Dr. Ir. Yudi Chadirin, S.TP, M.Agr. selaku dosen pembimbing pertama dan Dr. Eng. Ir. Allen Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam penelitian dan penyusunan skripsi.
- b) Orang tua tercinta, Bapak Muhammad Akbar dan Ibu Dian Yulianty, kakak adik tercinta serta Tesa yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, motivasi, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan penyusunan skripsi ini.
- c) Teman-teman kontrakan N37 yang telah memberikan dukungan, semangat, serta menciptakan suasana kebersamaan yang menyenangkan selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
- d) Teman-teman THE PENDEKAR yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, serta menjadi tempat berbagi pengalaman dan semangat selama menjalani masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
- e) Teman Bimbingan Tim Kualitas air dan Tim Kualitas Termal atas bantuannya dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Ananda Raihan Zahry



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	13
PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
METODE	7
2.1 Waktu dan Tempat	7
2.2 Alat dan Bahan	7
2.3 Prosedur Kerja	8
2.4 Pembuatan Model <i>Green Roof</i>	9
2.5 Pembuatan Unit Filtrasi	10
2.6 Pengumpulan Data	11
2.6.1 Perlakuan Filtrasi terhadap Sampel Limpasan	11
2.6.2 Perlakuan <i>Ultrafine Bubble</i> terhadap Sampel Limpasan	11
2.6.3 Pengujian Kadar DO pada Sampel Limpasan <i>Green roof</i>	12
2.7 Pemodelan dan Analisis Data	12
2.7.1 Pengembangan Model	13
2.7.2 Penentuan Konstanta Deoksigenasi (k_d)	13
2.7.3 Penentuan Koefisien Transfer Oksigen (kLa)	14
2.7.4 Validasi Model	16
2.7.5 Analisis Sensitivitas	17
III HASIL DAN PEMBAHASAN	19
3.1 Karakteristik Air Hujan	19
3.2 Pengaruh Filtrasi terhadap Karakteristik Air Limpasan <i>Green Roof</i>	20
3.3 Pengaruh Filtrasi terhadap Peningkatan DO selama Aerasi UFB	22
3.3.1 Pengaruh Filtrasi terhadap Aerasi 30 Menit	22
3.3.2 Pengaruh Filtrasi terhadap Aerasi 45 Menit	24
3.4 Evaluasi Kinerja Transfer Oksigen Berdasarkan Parameter Model	25
3.4.1 Estimasi Konstanta Deoksigenasi (k_d)	25
3.4.2 Estimasi Nilai kLa	27
3.4.3 Validasi Model	29
3.4.4 Analisis Sensitivitas Model	31

3.4.5	Evaluasi Skenario Operasional Menggunakan Model	33
IV	SIMPULAN DAN SARAN	35
4.1	Simpulan	35
4.2	Saran	36
	DAFTAR PUSTAKA	37
	RIWAYAT HIDUP	40





DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Karakteristik air hujan dan air limpasan <i>green roof</i>	19
2	Tabel 2 Karakteristik DO pada air limpasan setelah filtrasi	20
3	Tabel 3 Karakteristik TDS pada air limpasan setelah filtrasi	21
4	Tabel 4 Karakteristik DO selama aerasi 30 menit	23
5	Tabel 5 Karakteristik DO selama aerasi 45 menit	24
6	Tabel 6 Nilai k_d tiap variasi perlakuan	25
7	Tabel 7 Nilai kLa tiap variasi perlakuan	27
8	Tabel 8 Hasil validasi model kLa	29
9	Tabel 9 Hasil Analisis Sensitivitas kLa	31
10	Tabel 10 Hasil Analisis Sensitivitas C^*	32
11	Tabel 11 Skenario Operasional	33

DAFTAR GAMBAR

12	Gambar 1 Peta lokasi penelitian	7
13	Gambar 2 Diagram alir tahapan penelitian	9
14	Gambar 3 Desain model <i>green roof</i>	10
15	Gambar 4 Rancangan unit media filtrasi	11
16	Gambar 5 Kondisi DO saat aerasi 30 menit	23
17	Gambar 6 Kondisi DO saat aerasi 45 menit	25
18	Gambar 7 Nilai k_d tiap variasi perlakuan	26
19	Gambar 8 Nilai kLa tiap variasi perlakuan	27
20	Gambar 9 Kurva DO observasi dan DO prediksi 30 Menit	30
21	Gambar 10 Kurva DO observasi dan DO prediksi 45 Menit	30
22	Gambar 11 Analisis sensitivitas parameter kLa dan C^* terhadap nilai RMSE	32



DAFTAR NOTASI

C	= Konsentrasi oksigen terlarut pada waktu t , (mg/L)
C_0	= Konsentrasi awal oksigen terlarut sebelum aerasi, (mg/L)
C^*	= Konsentrasi oksigen terlarut jenuh, (mg/L)
C_{obs}	= Konsentrasi oksigen terlarut hasil pengamatan, (mg/L)
C_{pred}	= Konsentrasi oksigen terlarut hasil prediksi model, (mg/L)
DO	= konsentrasi oksigen terlarut, (mg/L)
ΔDO	= Perubahan konsentrasi oksigen terlarut, (mg/L)
k_d	= Konstanta deoksigenasi, (menit^{-1})
kLa	= Koefisien transfer oksigen volumetrik, (menit^{-1})
$\ln$	= Logaritma natural
n	= Jumlah data pengamatan
R^2	= Koefisien determinasi
Error	= Selisih antara nilai observasi dan prediksi model (mg/L)
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i>
SSE	= Jumlah kuadrat galat (<i>Residual Sum of Squares</i>)
SST	= Jumlah kuadrat total (<i>Total Sum of Squares</i>)
t	= Waktu pengamatan atau waktu aerasi, (menit)
δ	= Persentase perubahan parameter pada analisis sensitivitas, (%)