

**ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SECARA
REAL-TIME PADA AIRLIFT REACTOR
BERDASARKAN NILAI KLA DAN KINETIKA
REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG
BESI DAN MANGAN**

SKRIPSI



Oleh:

MUTIARA SANIYYAH ROCHMASIA

NPM. 22034010135

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR SURABAYA**

2026

**ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SECARA
REAL-TIME PADA AIRLIFT REACTOR
BERDASARKAN NILAI K_L DAN KINETIKA
REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG
BESI DAN MANGAN**

SKRIPSI



Oleh :

MUTIARA SANIYYAH ROCHMASIA

NPM 22034010135

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

**ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SEGARA *REAL-TIME*
PADA AIRLIFT REACTOR BERDASARKAN NILAI KLA DAN
KINETIKA REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG
BESI DAN MANGAN**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Lingkungan.**

Diajukan Oleh :

**Mutiara Saniyiah Rochmasia
NPM 22034010135**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SECARA *REAL-TIME* PADA AIR LIFT REACTOR BERDASARKAN NILAI K_{LA} DAN KINETIKA REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG BESI DAN MANGAN

Disusun Oleh:

Mutiara Saniyyah Rochmasia

NPM 22034010135

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T.

NIP/NPT 19620501 198803 1 001

Dr. Ir. R. Purnomo Edi Sasongko, M.P.

NIP/NPT 19640714 198803 1 001

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.

NIP 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SECARA *REAL-TIME*
PADA *AIRLIFT REACTOR* BERDASARKAN NILAI *K_{La}* DAN
KINETIKA REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG
BESI DAN MANGAN**

Disusun Oleh:



Mutiara Saniyyah Rochmasia

NPM 22034010135

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal Serambi
Engineering (Terakreditasi Sinta 4)

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Pembimbing 1

Dr. Tuhu Agung Rachmanto, M.T.

NIP/NPT. 19620501 198803 1 001

Dr. Okik Hendriyanto Cahyonugroho, ST., MT.

NIP/NPT. 19750717 202121 1 007

Pembimbing 2

2. Anggota

Dr. Ir. R. Purnomo Edi Sasongko, M.P.

NIP/NPT. 19640714 198803 1 00 1

P. S. Ardisty Sitogasa, S.T., M.T.

NIP/NPT. 19901001 202406 2001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.

NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

ANALISIS TRANSFER OKSIGEN SECARA REAL-TIME PADA AIRLIFT REACTOR BERDASARKAN NILAI KLA DAN KINETIKA REAKSI AIR TANAH YANG MENGANDUNG BESI DAN MANGAN

Disusun Oleh:

Mutiara Saniyah Rochmasia

NPM 22034010135

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 15 Juli 2026

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA

Dr. Olak Hendriyanto Cahyongroho, ST., MT.

P. S. Ardisty Sitogata, S.T., M.T.

NIP/NPI. 19750717 202121 1 007

NIP. 19901001 202406 2001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutiara Saniyyah Rochmasia
NPM : 22034010135
Program : Sarjana (S1)
Fakultas : Teknik dan Sains
Program Studi : Teknik Lingkungan

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir/Skripsi/~~Tesis/Disertasi~~* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur – unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 17 Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular 'Meterai Tempel' (adhesive stamp) from the Indonesian government. The stamp features the Garuda Pancasila emblem, the number '1000', and the text 'METERAI TEMPEL' and '999C8AOX038440569'.

Mutiara Saniyyah Rochmasia
NPM 22034010135

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Transfer Oksigen Secara *Real-Time* pada *Airlift Reactor* Berdasarkan Nilai K_{La} dan Kinetika Reaksi Air Tanah yang Mengandung Besi dan Mangan” ini dengan baik. Dalam penyusunan laporan ini, saya menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada: ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rossariawari, ST, MT selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ir. Tuhu Agung Rachmanto, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan, saran, serta dukungan material selama proses menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Seluruh anggota keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, motivasi, serta semangat yang tiada henti, baik secara moril maupun materiil, sehingga penulis dapat menyelesaikan proses penyusunan tugas akhir ini dengan baik.
5. Teman-teman Group Bertujuh yang selalu hadir memberikan bantuan, berbagi informasi, saling bertukar pendapat, serta memberikan semangat dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir hingga dapat diselesaikan dengan baik.
6. Muchammad Alief Husni yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, perhatian, doa, serta semangat kepada penulis untuk terus berusaha dan tidak menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses penyusunan tugas akhir ini hingga selesai.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2022 yang telah memberikan dukungan, bantuan, kerja sama, serta pengalaman dan kebersamaan yang berharga selama masa perkuliahan maupun dalam proses penyusunan tugas perancangan ini.

8. Keluarga PSDM Multiverses dan Inutero yang telah memberikan semangat, motivasi, dukungan, serta pengalaman organisasi yang berharga, sehingga penulis tetap termotivasi dan mampu menyelesaikan proses penyusunan tugas perancangan ini dengan baik.

Laporan ini telah disusun semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai perbaikan di masa datang. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis, pembaca, dan universitas, khususnya program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur.

Surabaya, 16 Juli 2026

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.3.1 Maksud.....	2
1.3.2 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Lingkup Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum.....	4
2.1.1 Air Tanah.....	4
2.1.2 Kualitas dan Baku Mutu Air	5
2.1.3 Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah	7
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	8
2.2.2 Transfer Gas	8
2.2.3 Kinetika Reaksi Okidasi.....	13
2.2.4 Aliran Fluida	15
2.2.5 Aerasi Difusi	16
2.2.6 <i>Airlift Reactor (ALR)</i>	18
2.2.7 Sistem Monitoring dan Akuisisi Data	20
2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	25

3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Bahan dan Alat	27
3.2.1 Desain Reaktor	27
3.2.2 Bahan.....	27
3.2.3 Alat.....	27
3.2.4 Pembuatan Reaktor	28
3.3 Cara Kerja	29
3.3.1 Uji Karakteristik Awal Air Tanah	29
3.3.2 Penelitian Utama	29
3.4 Variabel	31
3.5 Analisis.....	32
3.5.1 Analisis Parameter	32
3.5.2 Analisis Diameter <i>Fine Bubble Diffuser</i> Pada Sampel Air ...	32
3.6 Jadwal Kegiatan	33
3.7 Rancangan Anggaran Biaya (RAB) Penelitian	34
3.8 Matriks Penelitian	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil	37
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Karakteristik Air Baku	39
4.2.2 Perakitan dan Detail Arduino	40
4.2.3 Pengaruh Diameter Diffuser Terhadap Peningkatan Oksigen Terlarut.....	45
4.2.4 Pengaruh Diameter Diffuser Terhadap Profil Gelembung	48
4.2.5 Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn).....	49
4.2.6 K _L a	53
4.2.5 Kinetika Reaksi	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70

LAMPIRAN A HASIL ANALISIS	xii
LAMPIRAN B PERHITUNGAN	xv
LAMPIRAN C DOKUMENTASI	l
LAMPIRAN D DATA PENDUKUNG.....	lii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Air Bersih.....	6
Tabel 2. 2 Konsentrasi Oksigen Jenuh (mg/L)	12
Tabel 2. 3 Tekanan Uap Jenuh (mmHg)	13
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Air Tanah.....	37
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Konsentrasi Fe, Mn, Dissolved Oxygen (DO), dan Suhu pada Variasi Diameter Diffuser dan Waktu Proses	38
Tabel 4. 3 Hasil Uji Sampel Air Tanah	40
Tabel 4. 4 Hasil Uji Suhu dan Dissolved Oxygen	42
Tabel 4. 5 Hasil Uji Water Flow dan Air Flow	44
Tabel 4. 6 Perhitungan Bilangan Reynold	45
Tabel 4. 7 Pengaruh Diameter Diffuser dan Waktu Proses Oksigen Terlarut.....	46
Tabel 4. 8 Hasil Penurunan Kadar Besi (Fe) dan % Penyisihan.....	50
Tabel 4. 9 Hasil Penurunan Kadar Mangan (Mn) dan % Penyisihan	52
Tabel 4. 10 Perhitungan Kadar Oksigen Jenuh (Cs).....	54
Tabel 4. 11 Perhitungan Tekanan Uap Jenuh.....	54
Tabel 4. 12 KLa Waktu Proses Pada Berbagai Diameter Diffuser	55
Tabel 4. 13 Nilai KLa Tiap Diffuser.....	57
Tabel 4. 14 Perhitungan Kinetika Reaksi Besi Berbagai Diameter Diffuser.....	59
Tabel 4. 15 Konstanta Laju Reaksi (K) Besi Berbagai Diameter Diffuser	61
Tabel 4. 16 Perhitungan Kinetika Reaksi Mangan Berbagai Diameter Diffuser	63
Tabel 4. 17 Konstanta Laju Reaksi Mangan Tiap Diffuser	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Sumberdaya Air di Bumi	4
Gambar 2. 3 Aerasi Difusi	17
Gambar 2. 4 Airlift Reactor	18
Gambar 2. 5 Water Flow Sensor	20
Gambar 2. 6 Air Flow Sensor	20
Gambar 2. 7 Temperature Sensor	21
Gambar 2. 8 Sensor Dissolved Oxygen.....	21
Gambar 2. 9 Arduino Uno dan Arduino Micro.....	22
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Airlift Reactor (ALR)	27
Gambar 3. 3 Prosedur Pengoperasian Arduino.....	31
Gambar 4. 1 Sampel Awal Air Tanah.....	39
Gambar 4. 2 Detail Arduino	41
Gambar 4. 3 Pemantauan Sensor Pada Arduino IDE	42
Gambar 4. 4 Suhu Setiap Diffuser	43
Gambar 4. 5 Oksigen Terlarut Setiap Diffuser	43
Gambar 4. 6 Grafik Oksigen Terlarut Setiap Diffuser.....	47
Gambar 4. 7 Profil Gelembung Setiap Diffuser	48
Gambar 4.8 Hubungan Antara % Penyisihan Besi (Fe) dengan Waktu Proses Berbagai Diameter Diffuser	51
Gambar 4. 9 Hubungan Antara % Penyisihan Mangan (Mn) dengan Waktu Proses pada Berbagai Diameter Diffuser.....	53
Gambar 4. 10 Grafik Persamaan Regresi Linear Berbagai Diameter Diffuser ...	56
Gambar 4. 11 Grafik Nilai KLa Setiap Diffuser.....	58
Gambar 4. 12 Grafik Kinetika Besi (Fe) Berbagai Diameter Diffuser.....	61
Gambar 4. 13 Grafik Konstanta Laju Reaksi Besi	63
Gambar 4. 14 Grafik Kinetika Mangan Berbagai Diameter Diffuser	65
Gambar 4. 15 Grafik Konstanta Laju Reaksi Mangan	67

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Hasil Analisis Monitoring Parameter Operasional <i>Airlift Reactor</i> pada Arduino.....	xii
B1. Perhitungan Reaktor	xv
B2. Perhitungan Gas Velocity	xvi
B3. Perhitungan Bilangan Reynold (Re) untuk Air	xvi
B4. Perhitungan Bilangan Reynold (Re) untuk Udara.....	xvi
B5. Perhitungan Tekanan Uap Jenuh (P) dan Oksigen Jenuh (CS).....	xvii
B6. Perhitungan Kinetika Reaksi	xviii
C.1 Proses Pembuatan Reaktor	1
C.2 Proses Running Penelitian.....	1
D.1 Uji Karakteristik Awal Air Tanah	lii
D.2 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 6 cm dengan Waktu 10 Menit	liii
D.3 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 6 cm dengan Waktu 15 Menit	liv
D.4 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 6 cm dengan Waktu 20 Menit	lv
D.5 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 6 cm dengan Waktu 25 Menit	lvi
D.6 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 6 cm dengan Waktu 30 Menit	lvii
D.7 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 8 cm dengan Waktu 10 Menit	lviii
D.8 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 8 cm dengan Waktu 15 Menit	lix

D.9 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 8 cm dengan Waktu 20 Menit	lx
D.10 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 8 cm dengan Waktu 25 Menit	lxi
D.11 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 8 cm dengan Waktu 30 Menit	lxii
D.12 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 10 Menit	lxiii
D.13 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 15 Menit	lxiv
D.14 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 20 Menit	lxv
D.15 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 25 Menit	lxvi
D.16 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 30 Menit	lxvii
D.17 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 12 cm dengan Waktu 10 Menit	lxviii
D.18 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 12 cm dengan Waktu 15 Menit	lxix
D.19 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 20 Menit	lxx
D.20 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 25 Menit	lxxi
D.21 Hasil Uji Parameter Besi dan Mangan Difusser 10 cm dengan Waktu 30 Menit	lxxii

ABSTRAK

Air tanah merupakan salah satu sumber air bersih yang banyak dimanfaatkan masyarakat, namun sering mengandung besi (Fe) dan mangan (Mn) melebihi baku mutu sehingga memerlukan pengolahan sebelum digunakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik transfer oksigen secara real-time pada *Airlift Reactor* (ALR) berdasarkan nilai koefisien perpindahan massa oksigen (KLa) dan kinetika reaksi terhadap penyisihan Fe dan Mn menggunakan variasi *diameter fine bubble diffuser*. Penelitian dilakukan pada *Airlift Reactor* (ALR) kontinu yang dilengkapi Arduino Uno, sensor *dissolved oxygen* (DO), suhu, *water flow*, dan *air flow* untuk pemantauan secara *real-time*. Variasi diameter diffuser yang digunakan yaitu 6, 8, 10, dan 12 cm dengan waktu aerasi 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu aerasi meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) serta menurunkan konsentrasi Fe dan Mn pada seluruh variasi diffuser. Diffuser berdiameter 8 cm memberikan hasil terbaik dengan kadar DO mencapai 6,5 mg/L, efisiensi penyisihan Fe sebesar 90,69%, efisiensi penyisihan Mn sebesar 79,51%, serta menghasilkan nilai KLa tertinggi sebesar 0,0321 menit⁻¹. Analisis kinetika reaksi menunjukkan bahwa penyisihan Fe orde reaksi 2,3 dengan konstanta laju reaksi tertinggi sebesar 1,644, sedangkan penyisihan Mn orde reaksi 1,7 dengan konstanta laju reaksi tertinggi sebesar 0,142 pada diffuser 8 cm. Dengan demikian, diffuser berdiameter 8 cm merupakan kondisi operasi yang paling optimum dalam meningkatkan transfer oksigen sekaligus mempercepat proses oksidasi dan penyisihan besi dan mangan.

Kata Kunci: *Airlift Reactor*, Transfer Oksigen, Kinetika Reaksi, Besi, Mangan

ABSTRACT

Groundwater is one of the primary sources of clean water widely used by communities; however, it often contains excessive concentrations of iron (Fe) and manganese (Mn) that exceed water quality standards, requiring treatment before use. This study aimed to analyze real-time oxygen transfer characteristics in a continuous Airlift Reactor (ALR) based on the oxygen mass transfer coefficient (KLa) and reaction kinetics for the removal of Fe and Mn using different fine bubble diffuser diameters. The experimental system consisted of a continuous ALR equipped with an Arduino Uno, dissolved oxygen (DO), temperature, water flow, and air flow sensors for real-time monitoring. Fine bubble diffuser diameters of 6, 8, 10, and 12 cm were evaluated under aeration times of 10, 15, 20, 25, and 30 minutes. The results showed that increasing the aeration time increased the dissolved oxygen concentration while decreasing the concentrations of Fe and Mn for all diffuser variations. The 8 cm diffuser achieved the best performance, producing a maximum DO concentration of 6.5 mg/L, Fe removal efficiency of 90.69%, Mn removal efficiency of 79.51%, and the highest KLa value of 0.0321 min⁻¹. Reaction kinetics analysis indicated that Fe removal followed a reaction order of 2.3 with the highest reaction rate constant of 1.644, whereas Mn removal followed a reaction order of 1.7 with the highest reaction rate constant of 0.142 using the 8 cm diffuser. These findings demonstrate that the 8 cm diffuser provides the optimum operating condition for enhancing oxygen transfer while accelerating the oxidation and removal of iron and manganese from groundwater.

Keywords: *Airlift Reactor; Oxygen Transfer; Reaction Kinetics, Iron, Manganese*