

**HIDRODINAMIKA PADA AIRLIFT REACTOR  
(ALR) BERBASIS COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMICS (CFD) UNTUK  
PENGOLAHAN AIR TANAH DENGAN  
KANDUNGAN FE DAN MN**

**SKRIPSI**



Oleh :

**BRIGITTA ARDIANA DIVA AZZAHRA**

**NPM 22034010070**

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

**2026**

**HIDRODINAMIKA PADA AIRLIFT REACTOR (ALR)  
BERBASIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)  
UNTUK PENGOLAHAN AIR TANAH DENGAN  
KANDUNGAN FE DAN MN**

**SKRIPSI**

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

**Diajukan Oleh :**

**BRIGITTA ARDIANA DIVA AZZAHRA**

**NPM 22034010070**

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

## LEMBAR PERSETUJUAN

# **HIDRODINAMIKA PADA AIRLIFT REACTOR (ALR) BERBASIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) UNTUK PENGOLAHAN AIR TANAH DENGAN KANDUNGAN FE DAN MN**

Disusun Oleh:



**Brigitta Ardlana Diva Azzahra**

**NPM 22034010070**

**Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian**

**Menyetujui,**

**Pembimbing**



**Ir. Tubu Agung Rachmanto, M.T.**

**NIP/NPT. 19620501 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**

**HIDRODINAMIKA PADA AIRLIFT REACTOR (ALR)  
BERBASIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)  
UNTUK PENGOLAHAN AIR TANAH DENGAN  
KANDUNGAN FE DAN MN**

**Disusun Oleh:**



**Brigitta Ardiana Diva Azzahra**

**NPM 22034010070**

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

**Menyetujui,**

**Pembimbing**

**TIM PENGUJI**

**1. Ketua**



**Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T.**  
**NIP/NPT. 19620501 198803 1 001**



**Raden Kokoh Harjo Putro, S.T., M.T.**  
**NIP/NPT. 19900905 201903 1 026**

**2. Anggota**



**Syadzadhiya O. Z. Nisa, S.T., M.T.**  
**NIP/NPT. 21219940930296**

**Mengetahui,**

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



**Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.**  
**NIP. 19650403 199103 2 001**

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Brigitta Ardiana Diva Azzahra  
NPM : 22034010031  
Program : Sarjana (S1)  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dokumen skripsi ini sepenuhnya bebas dari materi karya ilmiah yang pernah diajukan untuk meraih gelar akademik di institusi mana pun. Tidak ada karya atau pendapat pihak lain yang diklaim sebagai milik saya, semua rujukan telah disitasi dengan benar sesuai kaidah penulisan ilmiah dan tercantum pada daftar pustaka.

Dengan demikian, saya menjamin orisinalitas karya ini dan sepenuhnya bebas dari tindakan plagiat. Jika di kemudian hari ditemukan bukti yang bertentangan dengan pernyataan ini, saya siap menerima sanksi akademik maupun hukum yang berlaku.

Surat pernyataan ini disusun secara jujur dan tanpa paksaan dari siapa pun, untuk digunakan sesuai dengan keperluannya.

Surabaya, 29 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan



Brigitta Ardiana Diva A.

NPM 22034010070

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Hidrodinamika Pada *Airlift Reactor* (ALR) Berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Untuk Pengolahan Air Tanah Dengan Kandungan Fe dan Mn”. Penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan, serta arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Seluruh anggota keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan baik secara material maupun moral selama penyusunan skripsi berlangsung.
5. Teman – teman Teknik Lingkungan angkatan 2022 yang selalu memberikan bantuan dan dukungan.
6. Teman – teman SMA penulis yang telah menemani hari – hari penulis, menjadi tempat berbagi informasi, keluh kesah, serta canda tawa dalam setiap langkah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini di masa

mendatang. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan pihak – pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 17 Agustus 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                      |             |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                           | <b>ii</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                               | <b>iv</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                            | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                           | <b>viii</b> |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                 | <b>ix</b>   |
| <b><i>ABSTRACT</i> .....</b>                                         | <b>x</b>    |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                                       | <b>1</b>    |
| 1.1    Latar Belakang .....                                          | 1           |
| 1.2    Perumusan Masalah .....                                       | 2           |
| 1.3    Maksud dan Tujuan .....                                       | 3           |
| 1.4    Manfaat .....                                                 | 3           |
| 1.5    Lingkup Penelitian .....                                      | 3           |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                  | <b>5</b>    |
| 2.1    Tinjauan Umum.....                                            | 5           |
| 2.1.1    Air Tanah.....                                              | 5           |
| 2.1.2    Karakteristik Air Baku .....                                | 6           |
| 2.1.3    Besi (Fe) dan Mangan (Mn).....                              | 8           |
| 2.1.4    Aerasi .....                                                | 9           |
| 2.2    Landasan Teori .....                                          | 10          |
| 2.2.1    Dinamika Aliran Fluida.....                                 | 10          |
| 2.2.2 <i>Airlift Reactor</i> (ALR).....                              | 11          |
| 2.2.3 <i>Gas Holdup</i> .....                                        | 13          |
| 2.2.3.1    Definisi dan Konsep Dasar .....                           | 13          |
| 2.2.3.2    Klasifikasi <i>Gas Holdup</i> .....                       | 14          |
| 2.2.3.3    Faktor – Faktor yang Mempengaruhi <i>Gas Holdup</i> ..... | 14          |
| 2.2.4 <i>Liquid Holdup</i> .....                                     | 15          |
| 2.2.5    Transfer Massa Oksigen.....                                 | 16          |
| 2.2.6 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....                 | 18          |
| 2.2.6.1    Definisi dan Prinsip Dasar CFD.....                       | 18          |
| 2.2.6.2    Persamaan Dasar dan Pemodelan CFD.....                    | 18          |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.6.3 Software Ansys Fluent .....                                          | 19        |
| 2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya.....                                         | 21        |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>                                         | <b>23</b> |
| 3.1 Kerangka Penelitian .....                                                | 23        |
| 3.2 Bahan dan Alat .....                                                     | 26        |
| 3.2.1 Desain Reaktor .....                                                   | 26        |
| 3.2.2 Bahan.....                                                             | 26        |
| 3.2.3 Alat.....                                                              | 27        |
| 3.3 Cara Kerja .....                                                         | 27        |
| 3.3.1 Metode Sampling Air Tanah (SNI 8995:2021) .....                        | 27        |
| 3.3.2 Uji Karakteristik Awal Air Tanah .....                                 | 28        |
| 3.3.3 Perancangan dan Pembuatan Reaktor .....                                | 28        |
| 3.3.4 Penelitian Utama .....                                                 | 30        |
| 3.4 Variabel .....                                                           | 33        |
| 3.5 Analisis.....                                                            | 34        |
| 3.5.1 Analisis Parameter .....                                               | 34        |
| 3.5.2 Analisis Ukuran <i>Mesh</i> Pada Sampel Air .....                      | 35        |
| 3.6 Jadwal Kegiatan .....                                                    | 36        |
| 3.7 Rancangan Anggaran Biaya (RAB) Penelitian .....                          | 37        |
| 3.8 Matriks Penelitian .....                                                 | 38        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                      | <b>40</b> |
| 4.1 Hasil .....                                                              | 40        |
| 4.2 Pembahasan.....                                                          | 42        |
| 4.2.1 Karakteristik Air Tanah .....                                          | 42        |
| 4.2.2 Analisis Penyisihan Konsentrasi Besi (Fe) .....                        | 43        |
| 4.2.3 Analisis Penyisihan Konsentrasi Mangan (Mn).....                       | 46        |
| 4.2.4 Pengaruh Variasi Kerapatan <i>Draft Tube</i> Terhadap Oksigen Terlarut | 47        |
| 4.2.5 Hasil Pemodelan Hidrodinamika Berbasis CFD.....                        | 50        |
| 4.2.6 Pengaruh Kerapatan <i>Mesh Draft Tube</i> Terhadap Pola Aliran Fluida  | 52        |
| 4.2.7 Analisis Keseuaian Nilai Gas Holdup.....                               | 58        |
| 4.2.8 <i>kLa</i> .....                                                       | 63        |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>          | <b>67</b>  |
| 5.1    Kesimpulan .....                          | 67         |
| 5.2    Saran.....                                | 68         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                       | <b>69</b>  |
| <b>LAMPIRAN A HASIL ANALISIS/PENGUKURAN.....</b> | <b>ix</b>  |
| <b>LAMPIRAN B PERHITUNGAN .....</b>              | <b>xi</b>  |
| <b>LAMPIRAN C DOKUMENTASI .....</b>              | <b>xiv</b> |
| <b>LAMPIRAN D DATA PENDUKUNG.....</b>            | <b>xix</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Baku Mutu Air Bersih.....                                                          | 7  |
| <b>Tabel 2. 2</b> Hasil Penelitian Sebelumnya .....                                                  | 21 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....                                                | 36 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Rencana Anggaran Biaya (RAB) Penelitian.....                                       | 37 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Matriks Variabel Penelitian.....                                                   | 39 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Uji Karakteristik Awal Air Tanah .....                                             | 41 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Hasil Pengukuran Akhir Konsentrasi Fe, Mn, dan DO .....                            | 41 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Uji Karakteristik Air Tanah.....                                                   | 43 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Hasil Pengukuran Konsentrasi Besi dan % <i>Removal</i> .....                       | 44 |
| <b>Tabel 4. 5</b> Hasil Pengukuran Konsentrasi Mangan dan % <i>Removal</i> .....                     | 46 |
| <b>Tabel 4. 6</b> Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut dan Suhu Tiap Variasi <i>Draft Tube</i><br>..... | 48 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Hasil Nilai <i>Gas Holdup</i> Pada Eksperimen dan Simulasi.....                    | 60 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Konsentrasi Oksigen Jenuh (mg/L) .....                                             | 64 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Perhitungan Nilai Cs Berdasarkan Eksperimen.....                                   | 64 |
| <b>Tabel 4. 10</b> Perhitungan Nilai kLa Setiap Variasi <i>Draft Tube</i> .....                      | 65 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Siklus Air Tanah.....                                                                                                                                     | 5  |
| <b>Gambar 2. 2</b> <i>Airlift Reactor</i> .....                                                                                                                              | 12 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Kerangka Penelitian.....                                                                                                                     | 25 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Desain <i>Airlift Reactor</i> (ALR) .....                                                                                                                 | 26 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Variasi Kerapatan <i>Mesh</i> pada <i>Draft Tube</i> .....                                                                                                | 26 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Tahap <i>Geometry</i> .....                                                                                                                               | 30 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Tahap <i>Meshing</i> .....                                                                                                                                | 31 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Tahap <i>Set-Up</i> .....                                                                                                                                 | 31 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Tahap <i>Solution</i> .....                                                                                                                               | 33 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Sampel Awal Air Tanah.....                                                                                                                                | 42 |
| <b>Gambar 4. 2</b> Hubungan Antara Konsentrasi Besi (Fe) Akhir Dengan Variasi Geometri <i>Draft Tube</i> .....                                                               | 45 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Hubungan Antara Konsentrasi Besi (Fe) Akhir Dengan Variasi Geometri <i>Draft Tube</i> .....                                                               | 46 |
| <b>Gambar 4. 4</b> Hubungan Antara Kadar Oksigen Terlarut Dengan Variasi Geometri <i>Draft Tube</i> .....                                                                    | 49 |
| <b>Gambar 4. 5</b> Pengambilan Data Kontur <i>Gas Holdup</i> .....                                                                                                           | 51 |
| <b>Gambar 4. 6</b> Pengambilan Data Pola Aliran Fluida ( <i>Vector</i> ) .....                                                                                               | 51 |
| <b>Gambar 4. 7</b> Pengambilan Data Nilai <i>Gas Holdup</i> .....                                                                                                            | 52 |
| <b>Gambar 4. 8</b> Hasil Simulasi Pola Aliran Fluida Berdasarkan <i>Velocity Vector</i> Pada Variasi Kerapatan <i>Mesh Draft Tube</i> (a) 0 mm, (b) 3 mm, dan (c) 5 mm ..... | 53 |
| <b>Gambar 4. 9</b> Hasil Eksperimen Pola Aliran Fluida Pada Variasi Kerapatan <i>Mesh Draft Tube</i> (a) 0 mm, (b) 3 mm, dan (c) 5 mm .....                                  | 56 |
| <b>Gambar 4. 10</b> Hasil Simulasi Kontur Gas Holdup Pada Variasi Kerapatan <i>Mesh Draft Tube</i> (a) 0 mm, (b) 3 mm, dan (c) 5 mm .....                                    | 58 |
| <b>Gambar 4. 11</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Gas Holdup</i> Pada Simulasi dan Eksperimen.....                                                                            | 61 |
| <b>Gambar 4. 12</b> Grafik Nilai <i>kLa</i> Tiap Variasi <i>Draft Tube</i> .....                                                                                             | 66 |

## ABSTRAK

Air tanah di Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik, memiliki permasalahan berupa tingginya konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn), serta rendahnya kadar oksigen terlarut atau dissolved oxygen (DO). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengolahan untuk meningkatkan kualitas air tanah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kerapatan *draft tube* terhadap karakteristik hidrodinamika, perpindahan massa oksigen, serta penyisihan Fe dan Mn menggunakan *airlift reactor* (ALR) skala laboratorium yang dioperasikan secara kontinu. Penelitian dilakukan melalui eksperimen dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan variasi kerapatan *draft tube* sebesar 0 mm, 3 mm, dan 5 mm. Debit air yang digunakan sebesar 1 L/menit, debit udara sebesar 7,5 L/menit, diameter diffuser sebesar 8 cm, dan waktu proses selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air tanah awal memiliki konsentrasi Fe sebesar 0,36 mg/L, Mn sebesar 0,61 mg/L, dan DO sebesar 3,4 mg/L. Variasi *draft tube* 5 mm memberikan kinerja terbaik dengan konsentrasi Fe akhir sebesar 0,0124 mg/L dan efisiensi penyisihan sebesar 96,56%, konsentrasi Mn akhir sebesar 0,0850 mg/L dan efisiensi penyisihan sebesar 86,07%, serta nilai DO sebesar 6,8 mg/L. Nilai koefisien perpindahan massa oksigen volumetrik ( $kLa$ ) juga meningkat dari 0,0406  $\text{menit}^{-1}$  pada variasi 0 mm menjadi 0,0486  $\text{menit}^{-1}$  pada variasi 5 mm. Dengan demikian, variasi kerapatan *draft tube* 5 mm merupakan kondisi paling optimum dalam meningkatkan transfer oksigen dan menyisihkan Fe serta Mn pada sistem ALR.

**Kata Kunci :** Air Tanah, *Airlift Reactor*, Besi, Mangan, *Draft Tube*, Transfer Oksigen

## **ABSTRACT**

*Groundwater in Kebomas Sub-district, Gresik Regency, is affected by high concentrations of iron (Fe) and manganese (Mn), as well as low levels of dissolved oxygen (DO). These conditions highlight the need for treatment to improve groundwater quality. This study aims to analyse the effect of variations in draft tube density on hydrodynamic characteristics, oxygen mass transfer, and the removal of Fe and Mn using a continuously operated laboratory-scale airlift reactor (ALR). The study was conducted through experiments and Computational Fluid Dynamics (CFD) modelling, with draft tube densities of 0 mm, 3 mm and 5 mm. The water flow rate was 1 L/minute, the air flow rate was 7.5 L/minute, the diffuser diameter was 8 cm, and the process duration was 30 minutes. The results of the study showed that the initial groundwater had an Fe concentration of 0.36 mg/L, a Mn concentration of 0.61 mg/L, and a DO concentration of 3.4 mg/L. The 5-mm draft tube provided the best performance, with a final Fe concentration of 0.0124 mg/L and a removal efficiency of 96.56%, a final Mn concentration of 0.0850 mg/L and a removal efficiency of 86.07%, and a DO value of 6.8 mg/L. The volumetric oxygen mass transfer coefficient ( $kLa$ ) also increased from  $0.0406 \text{ min}^{-1}$  at a 0 mm variation to  $0.0486 \text{ min}^{-1}$  at a 5 mm variation. Thus, a 5 mm variation in draft tube density represents the most optimal condition for enhancing oxygen transfer and removing Fe and Mn in the ALR system.*

**Keywords :** Groundwater, Airlift Reactor, Iron, Manganese, Draft Tube, Oxygen Transfer