

ANALISIS HIDRODINAMIKA *AERATION TANK* PADA *WASTEWATER TREATMENT PLANT* MENGGUNAKAN *SOFTWARE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ARIS ALBANI
NIM: 41315110019

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCUBUANA
JAKARTA

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS HIDRODINAMIKA *AERATION TANK* PADA *WASTEWATER TREATMENT PLANT* MENGGUNAKAN *SOFTWARE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh :

Nama : Aris Albani
NIM : 4131510019
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
JULI 2020

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Aris Albani
NIM : 41315110019
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Laporan Skripsi : Analisis Hidrodinamika Aeration Tank Pada Wastewater Treatment Plant Menggunakan Software Computational Fluid Dynamic

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh :

Pembimbing : Fajar Anggara, ST., M.Eng.

NIDN : 217910157

Penguji 1 : Prof. Dr. Usman Sudjadi

NIDN : 197580207

Penguji 2 : Andi Firdaus S. ST., M.Eng

NIDN : 217810112

Penguji 3 : Dr. Agung Wahyudi Biantoro ST., MM., MT

NIDN : DTT15020

Fajar Anggara

Prof. Dr. Usman Sudjadi

Andi Firdaus S. ST., M.Eng

Dr. Agung Wahyudi Biantoro ST., MM., MT

Jakarta, 17 Februari 2024

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T

Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T

Ketua Program Studi

Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., M.T

Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., M.T

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Aris Albani
NIM : 41315110019
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul : Analisis Hidrodinamika *Aeration Tank* Pada *Wastewater Treatment Plant* Menggunakan *Software Computational Fluid Dynamic*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah dibuat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan.

Jakarta, 17 Februari 2024



(Aris Albani)

PENGHARGAAN

Puji syukur diucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah, sehingga penulisan Laporan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Hidrodinamika *Aeration Tank* Pada *Sewage Treatment Plant* Menggunakan *Software Computational Fluid Dynamic*.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sarjana strata satu (S1) di Universitas Mercu Buana. Laporan Tugas Akhir ini dibuat berdasarkan data-data dan informasi yang di dapatkan dari proses pengkajian pustaka, perhitungan, dan proses simulasi menggunakan metode CFD.

Banyak pihak yang membantu hingga terselesaikannya penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah.
2. Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., M.T selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Subekti ST., MT., MM & Fajar Anggara, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Orang tua yang selalu memberikan semangat dan mendoakan kelancaran penyusunan laporan tugas akhir.
5. Adella Ardianti yang memberikan semangat dan doa dalam penulisan laporan tugas akhir.
6. Teknik Mesin angkatan XXVII Universitas Mercu Buana yang dari semester satu selalu bersamam di dalam mengambil mata kuliah dan yang memberi masukan dan saran ketika mengalami masalah di dalam penyusunan laporan tugas akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis selama proses pengambilan data, percobaan menggunakan simulasi dan pengerjaan laporan ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, maka dari itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca semua.

Harapan penulis semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada penulis pada khususnya dan kepada pembaca pada umumnya. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan terutama bagi mahasiswa Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 27 Juli 2020

(Aris Albani)



ABSTRAK

Wastewater treatment plants (WWTP) dibutuhkan untuk mengolah air limbah kota dan industri untuk mengurangi dampak polutan pada lingkungan. Dalam WWTP Tangki aerasi adalah salah satu proses terpenting dalam pengolahan air limbah. Sistem aerasi dengan gelembung halus (*Fine bubble*) telah diterapkan sejak 20 tahun terakhir. Terbukti memberikan kinerja oksigenasi tinggi. Akan tetapi permasalahan di tangki aerasi adalah sulit memprediksi *gas hold up* pada tangki aerasi yang dalam. Maka informasi yang lebih tepat tentang hidrodinamika lokal tangki aerasi diperlukan untuk lebih memahami dampak dari desain dan parameter operasi. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pola aliran dalam tangki aerasi dan tata letak difusser di bak aerasi mempengaruhi *gas hold up*. Metode CFD memungkinkan untuk memvisualisasikan dampak dari parameter desain dan strategi operasional pada sistem hidrodinamik lokal. Selain itu, dimasukkannya pemodelan turbulensi dan multifase memungkinkan pemodelan lebih terperinci dari sistem aerasi WWTP di mana aliran fluida gas-cair dimodelkan menggunakan model *Mixture model with Slip-condition*. Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimental yang diperoleh dari studi eksperimental skala 1:10 Pengukuran dilakukan dengan metode *Particle Image Velocimetry* (PIV) karena mampu mengukur bidang pengamatan secara simultan tanpa merusak aliran. Hasil pengukuran dan simulasi menunjukkan bahwa aliran dalam tangki aerasi bersifat turbulen dengan pola aliran yang kompleks. *Streamline* dan *vector* kecepatan, tampak bahwa arah aliran memiliki kecenderungan mengarah ke tengah sebelum mengalami turbulensi tinggi kemudian membaur. Pola aliran relatif seragam sampai pada ketinggian rata-rata 150 mm Perbandingan antara hasil simulasi dan data eksperimental menunjukkan bahwa simulasi CFD mampu memprediksi aliran dan aerasi dalam tangki aerasi dengan cukup akurat.

Kata Kunci : *wastewater treatment plant, wwtp, gas hold up, tangki aerasi, CFD*

HYDRODYNAMIC AERATION TANK ANALYSIS ON WASTEWATER TREATMENT PLANT USING SOFTWARE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

ABSTRACT

Wastewater Treatment Plants (WWTP) are required to treat municipal and industrial wastewater to reduce pollutant impacts on the environment. In WWTP, the Aeration Tank is one of the most important processes in wastewater treatment. Aeration systems with fine bubble diffusers have been implemented over the last 20 years, proving to provide high oxygenation performance. However, the issue in aeration tanks lies in the difficulty of predicting gas hold-up in deep aeration tanks. Therefore, more accurate information about the local hydrodynamics of the aeration tank is needed to better understand the impacts of design and operational parameters. This research conducts simulations of flow patterns in the aeration tank and the layout of diffusers in the aeration basin affecting gas hold-up. Computational Fluid Dynamics (CFD) methods allow visualizing the impacts of design parameters and operational strategies on local hydrodynamic systems. Additionally, including turbulence and multiphase modeling enables more detailed modeling of WWTP aeration systems where gas-liquid fluid flow is modeled using the Mixture model with Slip-condition. The simulation results are compared with experimental data obtained from a 1:10 scale experimental study. Measurements are conducted using Particle Image Velocimetry (PIV) because it can measure observation fields simultaneously without disturbing the flow. The measurement and simulation results show that the flow in the aeration tank is turbulent with complex flow patterns. Streamlines and velocity vectors show that the flow direction tends to converge towards the center before experiencing high turbulence and then blending. The flow pattern is relatively uniform up to an average height of 150 mm. Comparison between simulation results and experimental data indicates that CFD simulations can predict flow and aeration in the aeration tank quite accurately.

KEYWORD : *wastewater treatment plant, wwtp, gas hold-up, aeration tank, CFD*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. BATASAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN	
PUSTAKA	5
2.1 PENDAHULUAN	5
2.2 PENELITIAN YANG RELEVAN	5
2.3 INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH (IPAL) / <i>WASTEWATER TREATMENT</i>	9
2.3.1 Proses Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge Process</i>)	10
2.4 Sistem Aerasi	12
2.4.1 Teori Transfer Gas	12
2.4.2 Jenis-Jenis Sistem Aerasi	13
2.4.3 <i>Diffused Air Aeration</i>	15
2.4.4 <i>Diffuser</i>	15

2.4.5	Difusser Gelembung Halus (<i>Porous or Fine Bubble Diffusers</i>)	16
2.4.6	Blower	17
2.4.7	Pipa Udara (<i>Air Piping</i>)	18
2.5	DASAR-DASAR DINAMIKA FLUIDA	20
2.5.1	Persamaan Bernoulli	20
2.6	Diameter <i>Hidrolis</i>	21
2.6.1	<i>Rectangular Duct</i>	21
2.6.2	<i>Circular Duct</i>	21
2.7	<i>Mass Flowrate</i>	22
2.8	<i>Volumetric Flow Rate</i>	22
2.9	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) MODELLING	23
2.9.1	Pendefinisian Masalah Dan Persiapan Geometri	24
2.9.2	<i>Meshing</i>	25
2.9.3	Pemilihan <i>Governing Equation</i> Dan <i>Boundary Conditions</i>	25
2.9.4	<i>Turbulence Modelling</i>	27
2.9.5	<i>Multiphase Modelling</i>	27
2.9.6	Penilaian Dan Interpretasi Hasil	29
		
BAB III		
METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1	DIAGRAM ALIR	30
3.2	ALAT DAN BAHAN	31
3.2.1	Model Tangki Aerasi	32
3.2.2	Sistem <i>Particle Image Velocimetry</i> (PIV)	32
3.3	STUDI LITERATUR	34
3.4	DESAIN PENELITIAN	34
3.2.3	<i>LAYOUT</i> BAK / TANGKI AERASI	34
3.2.4	<i>Fine Bubble Membrane Disc Diffuser</i>	36

3.2.5	<i>Blower</i>	37
3.5	PROSEDUR SIMULASI	38
3.5.1	Tahap <i>Geometry</i>	38
3.5.2	Tahap <i>Meshing</i>	38
3.5.3	Tahap <i>Set Up</i>	38
3.5.4	Tahap <i>Solution</i>	39
3.5.5	Tahap <i>Result</i>	39
BAB IV		
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		40
4.1	PERHITUNGAN	40
4.1.1	<i>Diameter Hydraulic</i>	40
4.1.2	<i>Velocity Inlet</i>	41
4.2	Pemodelan <i>Computational Fluid Dynamics</i>	41
4.3.1	Pembuatan Geometri	42
4.3.2	<i>Meshing</i>	43
4.3.3	Pendefinisian <i>Boundary Conditions</i>	45
4.3.4	Pemilihan Turbulence modelling	46
4.3.5	Pemilihan Multiphase modelling	46
4.3	Hasil dan diskusi	46
4.3.1	Potongan Horizontal	46
4.3.2	Potongan Vertikal	49
4.1	Perbandingan Hasil Pengukuran <i>Particle Image Velocimetry</i> (PIV) dan Simulasi CFD	53
4.4.1	Streamline dan Vektor Kecepatan di Dalam Model Tangki Aerasi	53
4.4.2	Kecepatan Aliran	55
BAB V PENUTUP		57
5.1	KESIMPULAN	57

5.2 SARAN

58

DAFTAR PUSTAKA

59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Garis Besar Instalasi pengolahan Limbah (Rehman, 2016)	10 10
Gambar 2.2 Ilustrasi sederhana pengolahan limbah dengan metode lumpur aktif	11
Gambar 2.3 (a) Domes Difusser, (b) Disks Difusser dan (c) tube membrane difusser	17
Gambar 2.4 Perbedaan jenis <i>cell</i> untuk 3D <i>mesh</i> (Andersson et al., 2011).	25
Gambar 2.5 Berbagai kemungkinan <i>boundary conditions</i> yang mungkin digunakan di CFD	27
Gambar. 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar. 3.2 Model Tangki Aerasi	32
Gambar. 3.4 Skematik Pengukuran PIV	34
Gambar. 3.5 Gambar 2D <i>Layout Difusser</i> di Bak Aerasi	35
Gambar. 3.6 Gambar 2D Tampak Potongan bak Aerasi / Aeration Basin	35
Gambar. 3.7 <i>Fine bubble membrane disc difusser</i>	36
Gambar. 3.8 <i>Performance Parameter Difusser</i>	36
Gambar. 3.9 Rekomendasi Instalasi	37
Gambar. 3.10 <i>GRB three-lobe roots blower</i>	37
Gambar. 4.1 <i>Geometri tangki Aerasi Penyederhanaan difusser</i>	42
Gambar 4.3. <i>Meshing</i> pada Tanki Aerasi secara keseluruhan	43
Gambar 4.3. <i>Meshing</i> pada Tanki Aerasi bagian bawah yang terdapat surface membrane difusser.	44
Gambar 4.4 <i>Zoom area Meshing</i> pada Tangki Aerasi bagian bawah yang terdapat surface membrane difusser.	44
Gambar 4.4 (a) Potongan horizontal <i>Liquid Velocity Contour</i> dan (b) <i>gas hold up (volume fraction) of the gas phase countour</i> di kedalaman 2 m di tangki aerasi	46
Gambar 4.5 Potongan Horizontal <i>Contour gas hold up (volume fraction) of the gas phase</i> dengan kedalaman bervariasi di Tangki aerasi (titik 0 dari dasar tangki)	48
Gambar 4.6 Ilustrasi <i>Velocity Streamline</i>	49
Gambar 4.7 <i>Velocity vector</i> pada <i>location method plane XY & Z : 4 m</i> dan tampak isometri	49

Gambar 4.8 <i>Velocity vector</i> pada <i>location method plane XY & Z : 0 m</i> dan tampak isometri	50
Gambar 4.9 <i>Velocity vector</i> pada <i>location method plane XY & Z : -4 m</i> dan tampak isometri	50
Gambar 4.10 <i>Air volume fraction (gas hold up)</i> pada <i>location method plane YZ & X : 0 m</i> dan tampak isometric	51
Gambar 4.11 <i>Air volume fraction (gas hold up)</i> pada <i>location method plane YZ & X : -1.5 m</i> dan tampak isometric	51
Gambar 4.12 <i>Air volume fraction (gas hold up)</i> pada <i>location method plane YZ & X : 1.2 m</i> dan tampak isometric	51
Gambar 4.13 <i>Air volume fraction (gas hold up)</i> pada <i>location method plane YZ & X : 1.7 m</i> dan tampak isometric	52
Gambar 4.14 <i>Volume rendering Air volume fraction (gas hold up)</i>	52
Gambar 4.15 Streamline dan vector kecepatan Sumbu x dan sumbu y pada gambar merupakan posisi dalam satuan mm	54
Gambar 4.16 Streamline dan vektor kecepatan (diffuser 1,2,3). Sumbu x dan sumbu y pada gambar merupakan posisi dalam satuan mm	55
Gambar 4.17 Kecepatan gelembung di atas difuser pada ketinggian 10 cm dari dasar model tangki aerasi (frame 1)	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi perangkat yang biasa digunakan untuk aerasi air	5
Tabel 2.2 Deskripsi perangkat yang biasa digunakan untuk aerasi air limbah	14
Tabel 2.3 Kecepatan udara tipikal pada pipa header aerasi	19
Tabel 3.1 Spesifikasi Model Tangki Aerasi	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Model Tangki Aerasi	32
Tabel 3.1 Spesifikasi Tangki Aerasi dan Sistemnya	35
Tabel 4.1 Jumlah <i>Nodes & Element</i> pada <i>Mesh</i>	43
Tabel 4.2 <i>Boundary Conditions</i> yang digunakan pada simulasi ini	45
Tabel 4.3 Kecepatan gelembung diffuser pada ketinggian 10 cm (frame 1)	56



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
C_s	= Konsentrasi jenuh atau kesetimbangan gas dalam larutan, mg / l
\bar{p}	= Tekanan Parsial phase gas dalam air, atm
H	= Koefisien kelarutan Henry
h_L	= <i>Friction loss, mm of water</i>
f	= <i>Friction loss Factor obtained from moody diagram</i>
L	= Panjang Pipa, m
D	= Diameter Pipa, m
h_v	= <i>Velocity head of air, mm of water</i>
Q	= debit, m ³ /min <i>unferprevailing pressure and temperature conditions</i>
P	= tekanan, atm
T	= suhu pada pipa, K
P_1	= Tekanan statik fluida kondisi 1 (Pa)
P_2	= Tekanan statik fluida kondisi 2 (Pa)
V_1	= Kecepatan rata – rata fluida cair di kondisi 1 (m/s)
V_2	= Kecepatan rata – rata fluida cair di kondisi 2 (m/s)
Z_1	= Titik elevasi di kondisi 1 (m)
Z_2	= Titik elevasi di kondisi 2 (m)
H_L	= <i>Head karena rugi – rugi mayor (m)</i>
H_{Lm}	= <i>Head karena rugi – rugi minor (m)</i>
D_h	= <i>Diameter hidrolis (m)</i>
A	= Luas penampang (m ²)
P	= Keliling penampang (m)
m	= <i>Mass flow rate (kg/s)</i>
ρ	= Density liquid atau gas (kg/m ³)
v	= <i>Flow speed (m/s)</i>
A	= <i>Flow area (m²)</i>
Q	= <i>Volumetric flow rate (m³/s)</i>
ρ	= <i>Density liquid atau gas (kg/m³)</i>
v	= <i>Flow speed (m/s)</i>