



TESIS - TK 142541

**STUDI HIDRODINAMIKA DAN PARAMETER
MIXING TIME PADA REAKTOR BIOGAS
DENGAN SIDE-ENTERING MIXER BERBASIS
CFD**

ARI SUSANTI
NRP 2314201015

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng.
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - TK 142541

CFD STUDY OF HYDRODYNAMIC FACTORS AND MIXING TIME PARAMETERS ON BIOGAS REACTOR WITH SIDE ENTERING MIXER

ARI SUSANTI
NRP 2314201015

SUPERVISOR
Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

MASTER PROGRAM
PROCESS TECHNOLOGY
CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh

gelar

Magister Teknik (M. T)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ari Susanti

Nrp. 2314201015

Tanggal Ujian : 14 Juli 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng.
NIP. 1972 05 20 1997 02 1001

(Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 1952 09 16 1980 03 1002

(Pembimbing II)

3. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
NIP. 1967 02 03 1991 02 1001

(Penguji)

4. Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 1962 08 20 1989 03 1004

(Penguji)

5. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., MS.
NIP. 1984 10 23 2009 12 2009

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M. Sc., Ph.D
NIP. 1960 12 02 1987 01 1001

STUDI HIDRODINAMIKA DAN PARAMETER MIXING TIME PADA BIOGAS REAKTOR DENGAN SIDE-ENTERING MIXER BERBASIS CFD

Nama Mahasiswa : Ari Susanti
NRP : 2314201015
Pembimbing : Dr.Tantular Nurtono, S.T., M.Eng
Ko-Pembimbing : Prof.Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRAK

Tangki berpengaduk dengan *side-entering mixer* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam industri pengolahan limbah cair menjadi biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena hidrodinamika dan pengaruh kinerja pencampuran berdasarkan ukuran diameter impeller, kecepatan putar impeller, jumlah blade impeller, dengan menghitung *mixing time* dalam sistem *single-phase* menggunakan *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

Dalam penelitian ini digunakan air. Ukuran tangki yakni berdiameter 40 cm dengan tinggi 60 cm. Pengaduk berdiameter 3 cm dan 4 cm dengan jumlah blade 4 dan 6 blade. Jenis impeller yang digunakan yakni *Inclined Fan Turbine (IFT)* 45°. Kecepatan putar yang diterapkan yakni 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm. Model penting yang digunakan yakni k-ε standart dan *Multiple Reference Frame (MFR)*.

Hasil penelitian menunjukkan *rate aliran discharge stream* meningkat dengan bertambahnya kecepatan putar impeller dan semakin besarnya ukuran diameter impeller. Selain itu, semakin tinggi kecepatan putar maka semakin cepat *mixing time* tercapai.

Kata kunci : *computational fluid dynamics*, hidrodinamika, *mixing time*, *side-entering mixer*

CFD STUDY OF HYDRODYNAMIC FACTORS AND MIXING TIME PARAMETERS ON BIOGAS REACTOR WITH SIDE-ENTERING MIXER

By : Ari Susanti
Student Identify Number : 2314201015
Supervisor : Dr.Tantular Nurtono,S.T.,M.Eng
Co-Supervisor : Prof.Dr.Ir.Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRACT

Stirred tank with side-entering mixer is commonly used in a number of applications, such as in the liquid waste processing into biogas. This study aims to determine the phenomenon of hydrodynamic and the influence of diameter of tank, rotational speed, and number of impeller blades on mixing performance by calculating the mixing time with system of single-phase by modelling and simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD).

In this study, water was used as fluid. This simulation was carried out on the cylindrical vessel with diameter of 40 cm and 60 cm height, the impeller was 3 and 4 cm diameter for each 4 and 6 blades on 45° Inclined Fan Turbine (IFT) mixer. Speed of impeller was varied such as 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm and 400 rpm . The important model used to design and conduct this CFD study are k-epsilon standard and Multiple Reference Frame (MFR) from the impellers.

The result show that rate of discharge stream raise with increasing of impeller speed and size of impeller diameter. Moreover, mixing time is achieved with increasing impeller speed.

Keywords : *computational fluid dynamics, hydrodynamic, mixing time, side-entering mixer*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas	5
2.2 Tangki Berpengaduk.....	5
2.3 <i>Pumping Capacity</i>	11
2.4 <i>Mixing Time</i>	12
2.4 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	12
2.5 Pemodelan Impeller.....	14
2.6 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Sistem yang Dipelajari	19
3.2 Bahan yang Digunakan	21
3.3 Permodelan	21
3.4 Prosedur Simulasi	24
3.5 Variabel Penelitian.....	27

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Identifikasi Pola Alir.....	29
4.1.1 Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Pola Alir.....	39
4.1.2 Pengaruh Ukuran Diameter Impeller terhadap Pola Alir.....	44
4.1.3 Pengaruh Jumlah Blade Impeller terhadap Pola Alir.....	49
4.1.4 Validasi Pola Alir.....	54
4.2 Distribusi kecepatan dalam tangki.....	59
4.3 <i>Pumping Capacity</i>	66
4.4 <i>Mixing Time</i>	70
BAB 5 KESIMPULAN.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	75
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rincian Dimensi Peralatan.....	21
Tabel 3.2 Properti Liquid yang digunakan pada Simulasi	21
Tabel 3.3 Properties Grid Tangki Berpengaduk	25
Tabel 3.4 Nilai <i>Under-Relaxation Factors</i> yang digunakan.....	26
Tabel 4.1 Perbandingan kecepatan discharge impeller dengan perbedaan ukuran diameter impeller.....	49
Tabel 4.2 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 100 rpm.....	62
Tabel 4.3 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 200 rpm.....	62
Tabel 4.4 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 300 rpm.....	62
Tabel 4.5 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 400 rpm.....	62
Tabel 4.6 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 100 rpm.....	63
Tabel 4.7 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 200 rpm.....	63
Tabel 4.8 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 300 rpm.....	63
Tabel 4.9 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 400 rpm.....	63
Tabel 4.10 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 100 rpm.....	64
Tabel 4.11 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 200 rpm.....	64
Tabel 4.12 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 300 rpm.....	64
Tabel 4.13 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 400 rpm.....	64
Tabel 4.14 Distribusi kecepatan pada 6 blade 4 cm 100 rpm.....	65
Tabel 4.15 Distribusi kecepatan pada 6 blade 4 cm 200 rpm.....	65
Tabel 4.16 Distribusi kecepatan pada 6 blade 4 cm 300 rpm.....	65
Tabel 4.17 Distribusi kecepatan pada 6 blade 4 cm 400 rpm.....	65
Tabel 4.18 Kecepatan rata-rata discharge impeller.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk Pengaduk.....	9
Gambar 2.2 Pola Aliran Fluida di dalam Tangki Berpengaduk (a) <i>flat blade turbine</i> (b) <i>marine propeller</i> (c) <i>helical scrow</i>	9
Gambar 2.3 Ilustrasi untuk model <i>Multiple Reference Frame</i>	14
Gambar 2.4 Zona yang dihasilkan oleh Persimpangan <i>Interface</i> <i>Non-Periodic</i>	15
Gambar 3.1 Dimensi Tangki.....	19
Gambar 3.2 Geometri <i>Inclined Fan Turbine Impeller 4 Blade</i>	20
Gambar 3.3 Geometri <i>Inclined Fan Turbine Impeller 6 Blade</i>	20
Gambar 3.4 Pembagian Zona dalam Tangki Berpengaduk.....	23
Gambar 3.5 Hasil Meshing untuk <i>Stationary Zone</i>	24
Gambar 3.6 Hasil Meshing untuk <i>Moving Zone</i>	24
Gambar 3.7 Bidang pengamatan vertical dan horizontal.....	26
Gambar 3.8 Distribusi kecepatan dalam tangki.....	27
Gambar 4.1 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 100 rpm.....	31
Gambar 4.2 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 200 rpm.....	32
Gambar 4.3 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 300 rpm.....	32
Gambar 4.4 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 400 rpm.....	33
Gambar 4.5 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 100 rpm.....	33
Gambar 4.6 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 200 rpm.....	34
Gambar 4.7 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 300 rpm.....	34
Gambar 4.8 Pola alir dominan 4 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan	

impeller 400 rpm.....	35
Gambar 4.9 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 100 rpm.....	35
Gambar 4.10 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 200 rpm.....	36
Gambar 4.11 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 300 rpm.....	36
Gambar 4.12 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 400 rpm.....	37
Gambar 4.13 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 100 rpm.....	37
Gambar 4.14 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 200 rpm.....	38
Gambar 4.15 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 300 rpm.....	38
Gambar 4.16 Pola alir dominan 6 blade ; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 400 rpm.....	39
Gambar 4.17 Perbandingan Pola alir 4 blade ; $d/D = 0,075$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s.....	40
Gambar 4.18 Perbandingan Pola alir 4 blade ; $d/D = 0,1$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s.....	41
Gambar 4.19 Perbandingan Pola alir 6 blade ; $d/D = 0,075$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s.....	42
Gambar 4.20 Perbandingan Pola alir 6 blade ; $d/D = 0,1$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s.....	43
Gambar 4.21 Perbandingan Pola alir 4 blade ; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm untuk $d/D = 0,075$ dan $d/D = 0,1$	45
Gambar 4.22 Perbandingan Pola alir 4 blade ; (a) 300 rpm, (b) 400 rpm	

untuk $d/D = 0,075$ dan $d/D = 0,1$	46
Gambar 4.23 Perbandingan Pola alir 6 blade ; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm untuk $d/D = 0,075$ dan $d/D = 0,1$	47
Gambar 4.24 Perbandingan Pola alir 6 blade ; (a) 300 rpm, (b) 400 rpm untuk $d/D = 0,075$ dan $d/D = 0,1$	48
Gambar 4.25 Perbandingan Pola alir pada $d/D = 0,075$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 100 rpm, (b) 200 rpm.....	50
Gambar 4.26 Perbandingan Pola alir pada $d/D = 0,075$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 300 rpm, (b) 400 rpm.....	51
Gambar 4.27 Perbandingan Pola alir pada $d/D = 0,1$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 100 rpm, (b) 200 rpm.....	52
Gambar 4.28 Perbandingan Pola alir pada $d/D = 0,1$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 300 rpm, (b) 400 rpm.....	53
Gambar 4.29 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 100 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade.....	54
Gambar 4.30 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 200 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade.....	54
Gambar 4.31 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 300 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade.....	55
Gambar 4.32 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 400 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade.....	55
Gambar 4.33 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 100 rpm; $d/D = 0,1$; 6 blade.....	56
Gambar 4.34 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 200 rpm; $d/D = 0,1$; 6 blade.....	56
Gambar 4.35 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 300 rpm; $d/D = 0,1$; 6 blade.....	57
Gambar 4.36 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 400 rpm; $d/D = 0,1$; 6 blade.....	57
Gambar 4.37 Sistem Pencahayaan untuk Bidang Cahaya Vertikal (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping.....	59

Gambar 4.38 Sistem Pencahayaan untuk Bidang Cahaya Horizontal (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping.....	59
Gambar 4.39 Distribusi titik dalam tangki.....	61
Gambar 4.40 Perbandingan nilai pumping capacity menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 4 blade; $d/D=0,075$; 100 rpm-400 rpm.....	68
Gambar 4.41 Perbandingan nilai pumping capacity menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 4 blade; $d/D=0,1$; 100 rpm-400 rpm.....	68
Gambar 4.42 Perbandingan nilai pumping capacity menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 6 blade; $d/D=0,075$; 100 rpm-400 rpm.....	69
Gambar 4.43 Perbandingan nilai pumping capacity menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 6 blade; $d/D=0,075$; 100 rpm-400 rpm.....	69
Gambar 4.44 Posisi tracer dan titik pengamatan perubahan konsentrasi dalam tangki.....	71
Gambar 4.45 Waktu pencampuran pada 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan putar 100 rpm-400 rpm.....	72

DAFTAR NOTASI

W	Panjang impeller	[m]
h	Jarak Impeller Terbawah dari Dasar Tangki	[m]
D atau T	Diameter Tangki	[m]
d	Diameter impeller	[m]
H	Tinggi Tangki	[m]
N	Kecepatan putar impeller	[rps]
V	Volume liquid dalam tangki	[m ³]
ρ	Densitas <i>Fluida</i>	[kg/m ³]
r	Jari-Jari Silinder	[m]
θ_m	Mixing time	[s]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tangki berpengaduk secara luas digunakan dalam industri untuk memberikan sirkulasi pada aliran fluida di dalamnya. Tangki berpengaduk banyak diaplikasikan untuk pencampuran, reaksi dua larutan yang terlarut, mendispersi dua larutan yang tak saling terlarut, pencampuran dalam sistem multiphase, dan lain-lain (Wesselingh, 1975). Penggunaan tangki berpengaduk ini terutama pada industri kimia, farmasi, makanan, dan pengolahan air saat pembuatan cat, polimer, detergent, obat-obatan, dan pada saat proses pemurnian limbah industri serta rumah tangga (Distelhoff dan Marquis, 2000).

Dalam jangka panjang, penggunaan tangki berpengaduk sebagai reaktor biogas menjanjikan. Pada *biogas plant* komersial, reaktor menjadi alat utama dimana terjadi proses biogas anaerobik yang dapat dioperasikan secara batch atau kontinyu. Reaktor biogas komersial yang banyak digunakan terdiri dari tangki vertikal yang dilengkapi alat pengaduk dengan tujuan untuk mencegah pembentukan lapisan yang mengapung dan pengendapan, meningkatkan kontak antara mikroorganisme dengan material substrat baru, memfasilitasi gelembung-gelembung gas mengalir ke atas, meratakan distribusi suhu, dan nutrisi ke seluruh massa substrat. Salah satu tipe reaktor biogas tersebut adalah tangki berpengaduk dengan *side entering impeller*, selanjutnya akan disebut *side entering mixer* (SEM) (Pradana dan Andriani, 2013).

Side entering mixer (SEM) merupakan tangki yang pengaduknya dipasang secara horizontal pada dinding tangki dan dekat dengan dasar tangki. Beberapa keuntungan *side entering mixer* (SEM) yakni memiliki kapasitas volume yang besar, modal dan biaya operasi rendah, serta instalasinya sederhana karena tidak diperlukan lagi suatu penyangga untuk sistem penggerak mekanis (motor, *gear box*, poros empeller) pada bagian atas tangki. Karakteristik pencampuran akan berperan penting dalam mencapai kondisi yang dibutuhkan terutama untuk meningkatkan produktivitas dan profit (Chhabra dan Richardson, 2008). Aplikasi

side entering mixer (SEM) akan terkendala adanya kekomplekan akibat sifat-sifat fisik dan rheologi fluida dan kondisi proses.

Banyak pengoperasian industri pencampuran yang tidak efisien dan sia-sia karena kurangnya pemahaman dalam proses pencampuran. Ini terjadi dalam mempertimbangkan biaya misalnya kehilangan waktu produksi dan bahan baku, ketidakmampuan mempertahankan kualitas produk, kebutuhan pilot plant, dan kegagalan mekanis pada plant. Desain optimum tangki berpengaduk untuk meminimalisir modal dan biaya operasi berdasarkan rate produksi yang diinginkan dengan properti produk tertentu dan bagaimana mencapainya, misalnya pilihan yang tepat pada tangki dan geometri impeller, kecepatan putar, dan lokasi penambahan fluida serta substrat. Detail pengetahuan tentang power, kecepatan, dan karakteristik pencampuran dari konfigurasi tangki berpengaduk kemudian dibutuhkan. *Computational Fluid Dynamics* (CFD) biasanya digunakan untuk melengkapi penelitian secara eksperimen untuk optimisasi tangki berpengaduk. Simulasi numerik lebih murah dan lebih cepat untuk diselesaikan daripada penelitian secara eksperimen tetapi data eksperimen sangat penting untuk memahami 3-dimensi dan proses pencampuran turbulent dalam tangki berpengaduk untuk membangun korelasi model CFD untuk simulasi, untuk mendukung data inisial dan *boundary-condition* dan untuk memvalidasi prediksi (Distelhoff dan Marquis, 2000).

Homogenisasi adalah salah satu kunci dari proses yang kemudian disebut waktu pencampuran yang mana merupakan parameter empiris yang secara luas diadopsi dengan mendefinisikan skala waktu dari pencampuran liquida di dalam tangki berpengaduk. Waktu pencampuran adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai derajat pencampuran tertentu dari kondisi awal yang belum bercampur yang biasanya ditentukan dengan pengukuran dinamik distribusi sejumlah kecil material yang ditambahkan secara langsung dalam vessel (Magelli et al., 2013).

Ditinjau dari ukuran geometris tangki berpengaduk dengan *side entering mixer* (SEM), biasanya tangki yang mempunyai volume relatif besar dibandingkan dengan ukuran impeller yang digunakan. Karena dengan ukuran impeller yang kecil, biaya instalasi dan operasi yang digunakan juga rendah.

Tetapi ukuran dan jenis impeler, posisi serta jumlah impeler yang digunakan sangat mempengaruhi aliran fluida yang dihasilkan. Jenis impeler yang digunakan biasanya adalah jenis impeler aksial (yaitu : *marine propeler* dan *inclined blade turbine*). Oleh karena itu, penelitian akan ditekankan untuk mempelajari aliran fluida yang terjadi dalam tangki berpengaduk dengan *side entering impeller* (SEM) pada variasi kecepatan putar impeler, jumlah blade impeller, ukuran diameter impeller dan pengaruhnya terhadap kinerja pencampuran berupa waktu pencampuran (Zwietering, 1958). Hasil simulasi yang akan dikerjakan ini, akan divalidasi dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Affandy dan Mahendra (2016).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan studi yang terus berkembang, karakteristik hidrodinamika serta parameter *mixing time* yang terjadi pada sistem pencampuran dalam tangki berpengaduk dengan *side entering impeller* belum banyak diteliti sehingga fenomena ini belum banyak diketahui.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada sistem *single-phase* dengan menggunakan tangki berpengaduk berdiameter 40 cm dan tinggi 60 cm. Penelitian ini menggunakan 4 dan 6 blade *45° inclined fan turbine* (IFT) berdiameter 3 cm dan 4 cm dengan kecepatan putar impeller antara lain 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm dan 400 rpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik pola alir dalam sistem tangki berpengaduk dengan *side entering mixer* (SEM) pada variasi ukuran diameter impeller, jumlah blade dan kecepatan putar impeler, serta menghitung *mixing time* dengan pendekatan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Sesuai dengan tujuan penelitian tersebut di atas, hasil yang diperoleh suatu model yang dikembangkan dan divalidasi berdasarkan karakteristik instabilitas

aliran. Aplikasi model tersebut dapat diaplikasikan untuk evaluasi kinerja *side entering mixer* (SEM) pada skala komersial dengan target utama dapat mengoptimisasi daya guna yang lebih efisien.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan kinerja pencampuran dalam tangki berpengaduk dengan *side entering impeller* berdasarkan karakteristik fenomena hidrodinamika dan parameter *mixing time* pada variasi kecepatan putar impeller, jumlah blade, variasi diameter impeller serta dapat digunakan dalam desain peralatan dan kondisi operasi tangki berpengaduk dengan *side entering impeler*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Secara umum, biogas diproduksi dari proses *anaerobic digestion* dan terdiri dari metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Substrat yang digunakan dalam teknologi fermentasi dan metode yang dipakai, dapat memberikan efek terhadap produksi dan komposisi *raw biogas*. Selain metana dan karbondioksida, *raw biogas* juga terdiri dari amonia (NH₃), hidrogen sulfida (H₂S), hidrogen (H₂), oksigen (O₂), dan karbonmonoksida (CO) (Sun et al., 2015). Biogas dapat dihasilkan dari pengolahan secara anaerobic (*anaerobic digestion*) dengan bahan baku berupa limbah organik, seperti limbah cair kelapa sawit, limbah pengolahan sagu. Bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah tersebut didekomposisi oleh bakteri anaerobik fakultatif maupun obligat dalam suatu reaktor tertutup pada suhu 35°C – 55°C. Hasil dekomposisi bakteri yang berupa biogas akan keluar melalui bagian atas reaktor, sedangkan bahan yang tidak terdekomposisi akan keluar melalui bagian bawah reaktor.

2.2 Tangki Berpengaduk

Proses pencampuran (*mixing*) sering digunakan karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas, baik yang disertai reaksi kimia atau tidak. Untuk melakukan proses pencampuran maka digunakan tangki berpengaduk. Tangki berpengaduk secara umum terdiri dari impeller yang terhubung dengan *shaft* sebagai penggerakannya, dan dengan atau tanpa *baffle*. Prinsip kerja tangki pengaduk sendiri adalah mengubah energi mekanis motor yang memutar *shaft* impeller menjadi energi kinetik aliran fluida dalam tangki berpengaduk. Energi kinetik tersebut menimbulkan sirkulasi aliran fluida di ujung blade impeller sehingga terjadi proses pencampuran. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengadukan meliputi kecepatan putar impeller, geometri tangki, jenis fluida, sifat fluida, jenis impeller, jumlah impeller, dan letak atau posisi poros impeller (Sukmawedha et al., 2012).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pencampuran adalah:

1. Aliran yang turbulen dan laju alir bahan yang tinggi biasanya menguntungkan proses pencampuran. Sebaliknya, aliran yang laminar dapat menggagalkan pencampuran.
2. Ukuran partikel atau luas permukaan. Semakin luas permukaan kontak bahan-bahan yang dicampur berarti semakin kecil partikel dan semakin mudah gerakannya dalam campuran, maka proses pencampuran semakin baik
3. Kelarutan. Semakin besar kelarutan bahan-bahan yang akan dicampur maka semakin baik pula pencampurannya.

Pada sistem *biogas digester*, proses pengadukan memiliki beberapa tujuan antara lain untuk mendistribusikan *nutrient* pada *biogas digester* secara merata, membentuk suspensi antara padat dan cair, menghindari terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat mempercepat terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas, baik yang disertai reaksi kimia maupun tidak, mencegah terjadinya pembentukan *foam* dan mempermudah gas untuk bisa terangkat dari proses fermentasi substrat pada kondisi kering.

Side entering mixer adalah jenis pengaduk yang dipasang pada dinding tangki atau *vessel* dari sisi samping. *Side entering* digunakan untuk tangki yang besar karena alirannya dapat mencapai semua bagian dari tangki. Tujuan pengaduk dipasang dekat dengan bagian dasar tangki untuk menjamin pencampuran dari isi tangki bahkan sampai di level liquid paling rendah. Pada *side entering mixer* ada elemen fisik dalam tangki yang memaksa isi naik dan turun kembali, ini yang menunjukkan kerja dari pencampuran itu sendiri, homogenitas, dan keseragaman suhu. Keuntungan dari *side entering* ini sendiri adalah biaya awal yang rendah dan tidak ada pemasangan bantalan di atas tangki. *Side entering mixer* digunakan untuk mencampur zat cair yang viskositasnya rendah pada tangki yang besar, dimana ini tidak dapat digunakan untuk pencampur konvensional yang didukung dari atas tangki (Wahyujati dan Fandinuari, 2015).

Pengaduk dalam tangki memiliki fungsi sebagai pompa yang menghasilkan laju volumetrik tertentu pada tiap kecepatan putar dan input daya. Input daya dipengaruhi oleh geometri peralatan dan fluida yang digunakan. Profil aliran dan derajat turbulensi merupakan aspek penting yang mempengaruhi kualitas pencampuran. Rancangan pengaduk sangat dipengaruhi oleh jenis aliran, laminar atau turbulen. Aliran laminar biasanya membutuhkan pengaduk yang ukurannya hampir sebesar tangki itu sendiri. Hal ini disebabkan karena aliran laminar tidak memindahkan momentum sebaik aliran turbulen (Walas, 1990).

Pencampuran di dalam tangki pengaduk terjadi karena adanya gerak rotasi dari pengaduk dalam fluida. Gerak pengaduk ini memotong fluida tersebut dan dapat menimbulkan arus eddy yang bergerak keseluruhan sistem fluida tersebut. Oleh sebab itu, pengaduk merupakan bagian yang paling penting dalam suatu operasi pencampuran fasa cair dengan tangki pengaduk. Pencampuran yang baik akan diperoleh bila diperhatikan bentuk dan dimensi pengaduk yang digunakan, karena akan mempengaruhi keefektifan proses pencampuran, serta daya yang diperlukan.

Menurut aliran yang dihasilkan, pengaduk dapat dibagi menjadi tiga golongan:

1. Pengaduk aliran aksial yang akan menimbulkan aliran yang sejajar dengan sumbu putaran.
2. Pengaduk aliran radial yang akan menimbulkan aliran yang berarah tangensial dan radial terhadap bidang rotasi pengaduk. Komponen aliran tangensial menyebabkan timbulnya *vortex* dan terjadinya pusaran, dan dapat dihilangkan dengan pemasangan *baffle* atau *cruciform baffle*.
3. Pengaduk aliran campuran yang merupakan gabungan dari kedua jenis pengaduk di atas.

Menurut bentuknya, pengaduk dapat dibagi menjadi 3 golongan:

1. *Propeller*

Kelompok ini biasa digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi dengan arah aliran aksial. Pengaduk ini dapat digunakan untuk cairan yang memiliki viskositas rendah dan tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki. Kapasitas sirkulasi yang dihasilkan besar dan sensitif terhadap beban *head*. Dalam perancangan

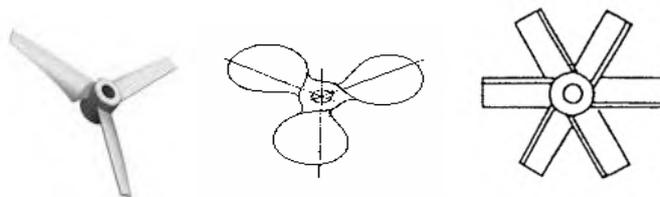
propeller, luas sudut biasa dinyatakan dalam perbandingan luas area yang terbentuk dengan luas daerah *disk*. Nilai nisbah ini berada pada rentang 0.45 sampai dengan 0.55. Pengaduk propeler terutama menimbulkan aliran arah aksial, Arus aliran meninggalkan pengaduk secara kontinyu melewati fluida ke satu arah tertentu sampai dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki.

2. *Turbine*

Istilah *turbine* ini diberikan bagi berbagai macam jenis pengaduk tanpa memandang rancangan, arah *discharge* ataupun karakteristik aliran. *Turbine* merupakan pengaduk dengan sudut tegak datar dan bersudut konstan. Pengaduk jenis ini digunakan pada viskositas fluida rendah seperti halnya pengaduk jenis *propeller*. Pengaduk *turbine* menimbulkan aliran arah radial dan tangensial. Di sekitar *turbine* terjadi daerah turbulensi yang kuat, arus dan geseran yang kuat antar fluida. Salah satu jenis pengaduk *turbine* adalah *pitched blade*. Pengaduk jenis ini memiliki sudut konstan. Aliran terjadi pada arah aksial, meski demikian terdapat pola aliran pada arah radial. Aliran ini akan mendominasi jika sudut berada dekat dengan dasar tangki.

3. *Paddles*

Pengaduk jenis ini sering memegang peranan penting pada proses pencampuran dalam industri. Bentuk pengaduk ini memiliki minimum 2 sudut, horizontal atau vertikal, dengan nilai D/T yang tinggi. *Paddle* digunakan pada aliran fluida laminar, transisi atau turbulen tanpa *baffle*. Pengaduk padel menimbulkan aliran arah radial dan tangensial dan hampir tanpa gerak vertikal sama sekali. Arus yang bergerak ke arah horisontal setelah mencapai dinding akan dibelokkan ke atas atau ke bawah. Bila digunakan pada kecepatan tinggi akan terjadi pusaran saja tanpa terjadi agitasi.



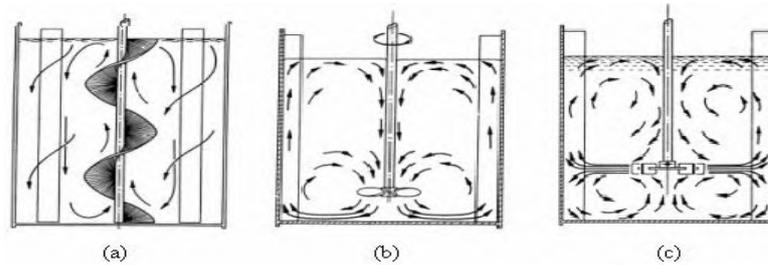
(a) hydrofoil impeller

(b) propeller

(c) turbine

Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk Pengaduk (Geankoplis, 2003)

Pada tangki berpengaduk, pola aliran yang dihasilkan bergantung pada beberapa faktor antara lain geometri tangki, sifat fisik fluida dan jenis pengaduk itu sendiri. Pengaduk jenis *turbine* akan cenderung membentuk pola aliran radial sedangkan *propeller* cenderung membentuk aliran aksial. Pengaduk jenis *helical screw* dapat membentuk aliran aksial dari bawah tangki menuju ke atas permukaan cairan. Pola aliran yang dihasilkan oleh tiap-tiap pengaduk tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pola aliran fluida di dalam tangki berpengaduk (a) *flat-blade turbine* (b) *marine propeller* (c) *helical screw*

(Pradana, 2013)

Pada dasarnya terdapat 3 komponen yang hadir dalam tangki berpengaduk yaitu:

- a. komponen radial pada arah tegak lurus terhadap tangkai pengaduk
- b. komponen aksial pada arah sejajar (paralel) terhadap tangkai pengaduk
- c. komponen tangensial atau rotasional pada arah melingkar mengikuti putaran sekitar tangkai pengaduk.

Komponen radial dan tangensial terletak pada daerah horizontal dan komponen longitudinal pada daerah vertikal untuk kasus tangki tegak (*vertical shaft*). Komponen radial dan longitudinal sangat berguna untuk penentuan pola aliran yang diperlukan untuk aksi pencampuran (*mixing action*). Pengadukan pada kecepatan tinggi ada kalanya mengakibatkan pola aliran melingkar di sekitar pengaduk. Gerakan melingkar tersebut dinamakan vorteks.

Vorteks dapat terbentuk di sekitar pengaduk ataupun di pusat tangki yang tidak menggunakan *baffle*. Fenomena ini tidak diinginkan dalam industri karena beberapa alasan. Pertama kualitas pencampuran buruk meski fluida berputar dalam tangki. Hal ini disebabkan oleh kecepatan sudut pengaduk dan fluida sama.

Kedua udara dapat masuk dengan mudahnya ke dalam fluida karena tinggi fluida di pusat tangki jatuh hingga mencapai bagian atas pengaduk. Ketiga, adanya vorteks akan mengakibatkan naiknya permukaan fluida pada tepi tangki secara signifikan sehingga fluida tumpah. Upaya berikut ini dapat dilakukan untuk menghindari vorteks, yaitu:

1. Menempatkan tangkai pengaduk lebih ke tepi (*off-center*)
2. Menempatkan tangkai pengaduk dengan posisi miring
3. Menambahkan *baffle* pada dinding tangki.

Faktor hidrodinamika pada pengadukan sangat kompleks. Bervariasi karena properti mekanik yang dapat ditentukan seperti kecepatan putar dan *blade passage frequency* sampai properties seperti turbulensi dan fenomena pola alir dengan frekuensi rendah. Pola aliran dalam tangki berpengaduk sangat dipengaruhi oleh geometri tangki, jenis impeller, *baffle*, *clearance*, jumlah dan kecepatan impeller, dan properti bahan. Aliran turbulen dalam tangki berpengaduk yang dioperasikan pada kondisi konstan akan membentuk pergerakan yang tidak stabil baik di sekitar impeller maupun pola alir secara keseluruhan. Ketidakstabilan aliran dalam skala besar dan frekuensi rendah ini diidentifikasi sebagai makroinstabilitas. Fenomena dengan frekuensi rendah yang disebutkan di atas merujuk pada Makro-Instabilitas (MI) yang berpengaruh pada pola alir sehingga mempengaruhi pengadukan secara keseluruhan. Makro-Instabilitas adalah fenomena perubahan pola aliran fluida yang terjadi di seluruh bagian tangki berpengaduk dalam waktu yang lebih lama dibandingkan dengan waktu satu kali putaran impeller dengan frekuensi kemunculan yang rendah. Frekuensi kemunculannya rendah, berpengaruh pada pola alir sehingga mempengaruhi pengadukan secara keseluruhan. Terjadi pada skala besar memiliki arti fisik ada pergantian mendadak dari pola alir secara keseluruhan sedangkan terjadi pada frekuensi rendah berarti *life time period* pada setiap pola alir lebih besar dari waktu satu kali putaran impeller (Septiani et al., 2013).

2.3 Pumping Capacity

Axial turbine memompa fluida secara aksial di dalam tangki yang membentuk pola aliran bersirkulasi. Rate volume kembali secara total adalah rate sirkulasi total yang berada di dalam tangki. *Pumping capacity*, Q , dari suatu impeller merupakan aliran volumetrik melalui *plane* karena rotasi impeller. Rate sirkulasi yang masuk merupakan selisih antara dua aliran volumetrik. Sesuai dengan persamaan kontinuitas pada bentuk integral untuk fluida *incompressible*, *volumetric rate*, Q , bisa diartikan sebagai bentuk perkalian kecepatan fluida dengan flow area.

$$Q \approx vA \approx (\pi ND)D^2 \quad (1)$$

Yang mana kecepatan fluida diasumsikan proporsional terhadap kecepatan ujung impeller, $v \approx v_t (\pi ND)$, dan pengukuran ukuran area diberikan dengan luasan dari diameter impeller, $A \approx D^2$.

Diketahui juga koefisien N_Q , sebagai berikut :

$$Q = N_Q ND^3 \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2)$$

Yang mana aliran atau pumping number, N_Q , adalah grup tanpa dimensi untuk mengkuantitasi pola aliran dalam tangki berpengaduk. N_Q bervariasi tergantung pada tipe impeller, geometri tangki, dan *flow regime* (Jakobsen, 2014).

2.4 Mixing Time

Mixing time biasanya digunakan sebagai parameter kritis dalam menentukan efisiensi sistem pengadukan. Umumnya menggunakan korelasi penurunan dari eksperimental *mixing time* saat mendesain suatu pengaduk. Tetapi korelasi-korelasi memiliki banyak keterbatasan. Biasanya eksperimental dilakukan menggunakan vessel skala kecil dan geometri impeller tidak benar-benar seukuran saat menggunakan tangki penuh. Kebanyakan korelasi berdasarkan pengukuran dengan impeller tunggal, yang mana sistem *multiple impeller* biasanya pada tangki produksi. Waktu pencampuran (*mixing time*) adalah

waktu yang dibutuhkan sehingga diperoleh keadaan yang homogen untuk menghasilkan campuran atau produk dengan kualitas yang telah ditentukan. Sedangkan laju pencampuran (*rate of mixing*) adalah laju dimana proses pencampuran berlangsung hingga mencapai kondisi akhir.

Perhitungan *mixing time* dapat dilakukan dengan 2 metode. Pertama menggunakan pelacakan *unsteady* dari partikel apung secara alami. Setelah dikeluarkan, disperse turbulent dari partikel dilacak, dan konsentrasi partikel diambil sampelnya beberapa kali. Metode kedua mengikuti perpindahan tracer cair. *Tracer* ditambahkan dekat dengan permukaan liquid, konsentrasi diamati di dalam tangki berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan ini hampir sama dengan metode eksperimen yang biasanya digunakan. Keuntungan menggunakan CFD yakni secara simultan dapat diamati beberapa titik untuk menunjukkan perubahan konsentrasi di beberapa titik dalam tangki.

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD merupakan analisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini dapat mensimulasikan sampai dengan fenomena yang berhubungan dengan sistem *multiphase*, dispersi gas atau pergerakan partikel tersuspensi.

Secara umum kerangka kerja CFD meliputi formulasi persamaan-persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post processor*. (Versteeg & Malalasekera, 2007).

1. Pre-Processor

Pre-processing meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang sesuai untuk digunakan oleh *solver*. Langkah-langkah dalam tahap ini meliputi:

- Pendefinisian geometri yang ingin dianalisa
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih

- Memilih fenomena fisik dan kimia yang ingin dimodelkan
- Pendefinisian properti fluida
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada control volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain

2. *Solver*

Secara umum metode *numeric solver* terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui
- *Diskretisasi* yaitu integrasi persamaan-persamaan pengendali (*governing equation*) sebagai kontrol volume menjadi persamaan-persamaan diskret di titik tengah kontrol volume tersebut
- Penyelesaian persamaan-persamaan diskret dalam bentuk persamaan aljabar linear

3. *Post-Processor*

Post-processing merupakan tahap visualisasi dari tahapan sebelumnya. *Post processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain:

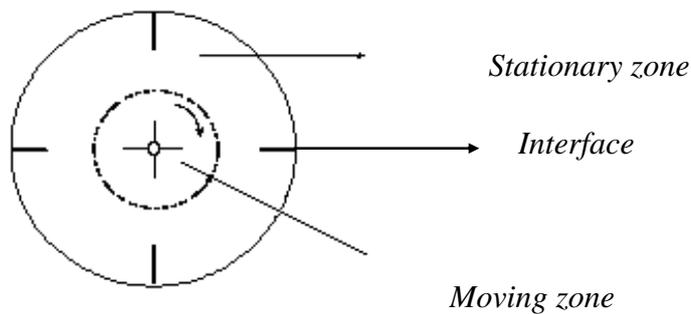
- Plot *vector* atau kontur dalam bentuk 2D dan 3D
- *Particle tracking*
- Manipulasi tampilan (translasi, skala dan sebagainya)
- Animasi *display* hasil dinamik

2.6 **Pemodelan Impeller**

Pada simulasi berbasis CFD, pergerakan impeller dapat dimodelkan dengan menggunakan 2 model yaitu *Sliding Mesh* (SM) dan *Multiple Reference Frame* (MRF). Model *Sliding Mesh* sering digunakan untuk memodelkan *rotating impeller* dibandingkan dengan metode yang lain karena metode ini memungkinkan untuk memodelkan perputaran impeller secara realistis tanpa penambahan *semi-empirical source term* pada persamaan momentum. Domain dari SM dibagi menjadi dua yaitu *inner rotating mesh* yang melingkupi impeller

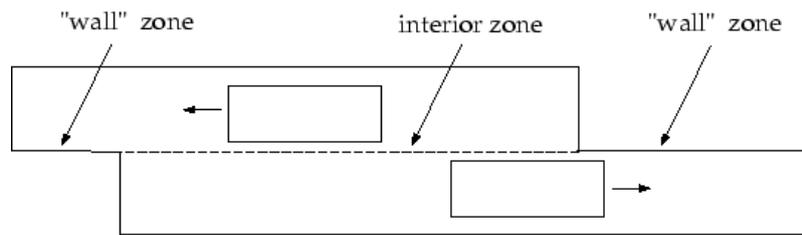
dan *outer stationary mesh* yang mengisi bagian selain *inner rotating mesh* pada tangki. Interface kedua zona terletak diantara ujung impeller dan *baffle*.

Untuk suatu tangki pencampur yang dilengkapi *impeller*, dapat didefinisikan suatu kerangka acuan yang berputar (*rotating reference frame*) yang melibatkan *impeller* dan aliran di sekitarnya, menggunakan kerangka diam (*stationary frame*) untuk aliran di luar impeller. Contoh dari konfigurasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3 (garis putus-putus menunjukkan *interface* antara dua kerangka acuan).



Gambar 2.3 Ilustrasi untuk model *Multiple Reference Frame*

Model *sliding mesh* memungkinkan grid relatif bergantian dengan yang lain tanpa harus segaris dengan *interface grid*. Hal ini memerlukan rata-rata perhitungan flux yang melewati zona *interface* yang *non-conformal* pada setiap *grid interface*. Untuk menghitung *interface flux*, persimpangan antara zona *interface* ditentukan setiap *time step* yang baru. Hasil dari persimpangan menghasilkan sebuah zona interior (zona dengan sel fluida pada kedua sisinya) dan satu atau lebih zona periodik. Jika tidak periodik, persimpangan akan menghasilkan satu zona interior (*interior zone*) dan sepasang zona dinding ("*wall*"*zone*, yang mana akan kosong bila dua zona *interface* bersimpangan secara penuh), sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada prinsipnya, flux yang memotong *grid interface* dihitung dengan menggunakan gambaran yang dihasilkan dari persimpangan dua zona *interface*.



Gambar 2.4 Zona yang Dihasilkan oleh Persimpangan *Interface Non-Periodic*

Selain metode *Sliding Mesh*, dapat digunakan metode *Multiple Reference Frame* (MRF). Beberapa masalah dapat diselesaikan dengan metode moving reference frame yang mana keseluruhan domain komputasional bergerak, yang dinamakan pendekatan single reference frame. Tetapi untuk masalah yang kompleks, akan lebih sesuai jika menggunakan *Multiple Reference Frame* (MRF) dengan kombinasi frame *stationary* dan *moving*. Domain komputasional dibagi menjadi 2 yakni zona moving dan stationer dengan mendefinisikan interface diantara kedua zona. Kuantitas *velocity*, tekanan, dan lain-lain berubah sepanjang interface diantara dua zona. Pada system moving, model transient dapat dilakukan pendekatan sliding mesh di bawah model MRF. Zona *moving* termasuk stirrer dan rotasi sesuai dengan kecepatan putar stirrer. Zona stationer termasuk sisa dari control volume pada baffle, tangki, fluida di dalam tangki. Persamaan dari penggunaan *sliding mesh* dan MRF, sama-sama membagi daerah menjadi dua bagian yaitu *moving zone* dan *static zone*. Namun yang membedakan kedua metode ini adalah pada *sliding mesh* mengalami deformasi *meshing*, sedangkan pada metode MFR tidak mengalami deformasi *meshing*.

2.7 Penelitian Terdahulu

Purwanto & Pebriani (2016) melakukan penelitian berjudul “Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Pola Alir dalam Reaktor Biogas dengan Side-Entering Inclined Blade Turbine” tentang reaktor berpengaduk untuk mengetahui efek dari kecepatan putar impeller dan geometri tangki terhadap pola alir dengan metode visualisasi dan waktu pencampuran. Hasilnya bahwa kecepatan putar

mempengaruhi daerah stagnan dalam tangki. Semakin tinggi kecepatan putar, *pumping capacity* semakin tinggi, *mixing time* semakin cepat tercapai.

Wahyujati & Fandinuari (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Visualisasi Makro Instabilitas Pola Alir serta Pengukuran *Pumping Capacity* dan *Mixing Time* dalam Tangki Berpengaduk dengan *Side-Entering Impeller*” tentang reaktor berpengaduk dengan *side-entering impeller* untuk mengetahui karakteristik hidrodinamika berupa pola alir dan performa pengadukan yang diindikasikan dengan *mixing time*. Menggunakan silinder 6 dan 4 *pitch blade turbine*. Hasilnya semakin tinggi liquidada maka variasi pola alir semakin sedikit. Semakin banyak impeller maka variasi aliran semakin berkurang tapi *life time* pola alir lebih lama. Semakin besar kecepatan pengadukan, diameter impeller, dan jumlah blade, *mixing time* akan berkurang dan *pumping capacity* makin besar.

Mubin & Pradana (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Simulasi CFD Karakteristik Hidrodinamika *Side-Entering Mixer* dengan *Inclined Fan Turbine* dan *Marine Propeller*” tentang karakteristik pola alir dan *makro instability* dalam fluida menggunakan dua jenis tipe *impeller* yaitu *marine propeller* dan *inclined fan turbine* berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* serta mengetahui validasi dari hasil simulasi terhadap hasil eksperimen. Pola alir lain dalam hal ini fenomena terjadinya makro instabilitas (MI) pada tiap ukuran *impeller* dengan tiap kecepatan *impeller* adalah berbeda. Semakin besar diameter dan kecepatan putar *impeller* akan memberikan jumlah kemunculan fenomena makro instabilitas yang semakin banyak pula. Berdasarkan *range* kecepatan yang diperoleh, hasil simulasi ini sesuai dengan hasil eksperimen sehingga dapat digunakan untuk simulasi pola aliran pada *storage tank* dengan geometri yang sama.

Fahmi & Wonokusumo (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Biogas Reaktor dengan *Side-Entering Mixer* Berbasis CFD” tentang penelitian *multiphase* pada reaktor berpengaduk yang dipasang 45° *inclined fan turbine* berdiameter 3 cm dan 4 cm dengan *blade* 4 dan 6 untuk mengetahui karakteristik pola aliran dan makroinstabilitas berdasarkan ukuran, jenis, kecepatan putar impeller. Hasilnya semakin besar diameter impeller, aliran di sekitar impeller semakin turbulenta. Semakin cepat putaran impeller, terjadi *vortex*

dalam tangki. Fraksi gas metana terlalu besar sehingga dalam bentuk gelembung besar.

Pradana & Andriani (2013) melakukan penelitian berjudul “Visualisasi Pola Alir dalam tangki Berpengaduk Menggunakan *Side-Entering Mixer*” tentang pola alir yang terjadi pada TB-SEI dengan eksperimen menggunakan impeller berbentuk *pitch-blade turbine* dengan liquids berupa air yang dicampur dengan partikel PVC. Semakin besar kecepatan putaran pengadukan, maka hasil pengadukan akan semakin homogen dan memiliki N_{Re} yang besar.

Anharullah & Septiani (2013) melakukan penelitian berjudul “Simulasi Pola Aliran Dalam Tangki Berpengaduk Menggunakan *Side-Entering Impeller* Berbasis CFD” tentang karakteristik pola alir dan makroinstabilitas yang terjadi dalam pengadukan menggunakan *side-entering impeller* secara simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Pola alir lain dalam hal ini fenomena terjadinya makro instabilitas (MI) pada tiap ukuran *impeller* dengan tiap kecepatan *impeller* adalah berbeda. Semakin besar diameter dan kecepatan putar *impeller* akan memberikan jumlah kemunculan fenomena makro instabilitas yang semakin banyak pula.

Wesselingh (1975) melakukan penelitian yang berjudul “Mixing of Liquid in Cylindrical Storage Tanks with Side-Entering Propeller” tentang pencampuran zat cair pada tangki penyimpanan silinder dengan *side entering propeller* untuk memperoleh korelasi umum dari variabel pencampuran dengan berbagai model skala tangki dan berkorelasi hasil dengan cara analisis dimensi. Pada tangki paling kecil dibuat dari *Perspex* sedangkan tangki yang lain di buat dari baja. Isi tangki tertutup dengan *floating roof* dari *polystyrene foam*. Diameter yang digunakan adalah 29 mm, 40 mm dan 64 mm. zat cair yang digunakan adalah air dan larutan garam dengan perbedaan densitas antara 2 dan 160 kg/m³. *Glycerine* ditambahkan pada zat cair untuk meningkatkan viskositas. Koreksi waktu pencampuran yang diterapkan oleh Wesselingh kurang dari 30%.

Kipke (1984) melakukan penelitian berjudul “Suspension by Side Entering Agitators” tentang suspensi pada *side entering agitator*. Sebagian besar proses *desulphurisasi flue gas* yang beroperasi pada *wet principle*, memiliki masalah agitasi baru, yaitu suspensi padat dengan pengadukan *side-entering*.

Hampir semua tahapan proses suspensi pada padatan harus dipelihara dengan *agitator*. Masalah khusus pada pencampuran hanya ada pada tangki *surge* untuk zat cair pencuci dibawah *scrubber*. Karena alasan ruang, hanya *side entering agitator* yang dapat digunakan. Berdasarkan perbedaan tes skala pilot, penyelidikan dilakukan pada pengaruh kemampuan suspensi dari posisi pengaduk (jumlah agitator, kecenderungan *vertical* dan *horizontal*), rasio diameter dan tipe impeller. Hasilnya pada pengaturan optimal seluruh dasar bebas padatan, baik dipusat dan disudut-sudut, pada bagian ini padatan tersuspensi tepat diatas. Penggunaan EKATO *propeller* dan *hydrofoil propeller* tidak ada pengaruhnya.

Oldshue (1956) melakukan penelitian berjudul “Fluid Mixing Technology and Practice” tentang waktu yang dibutuhkan untuk campuran lapisan air dengan perbedaan suhu (dan densitas) dengan cara *side-entering propeller*. Hasilnya perbedaan densitas dan kecepatan propeller mirip dengan hasil yang dicapai Wesselingh (1975). Namun efek dari $[d/D]$ lebih besar.

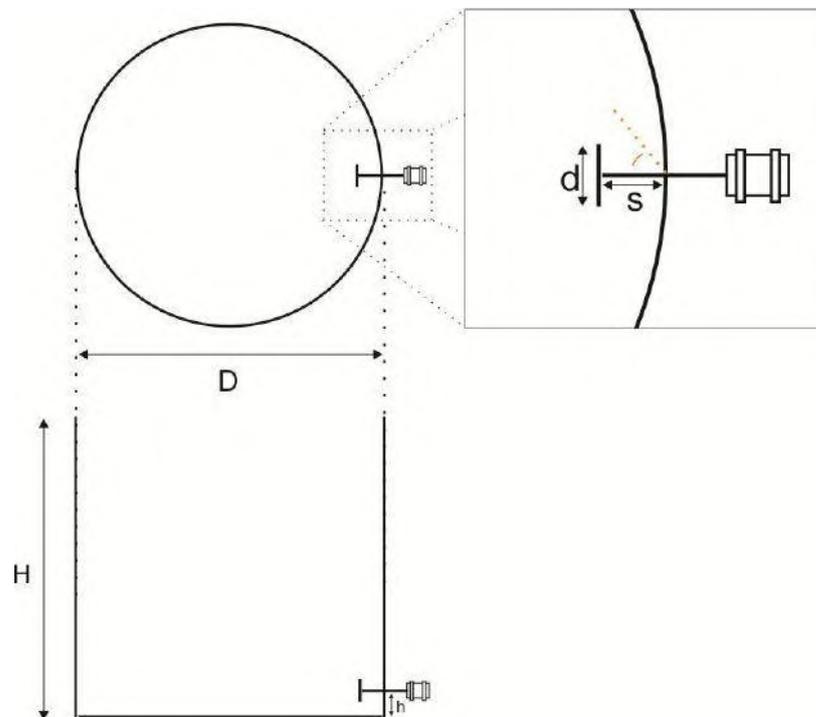
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

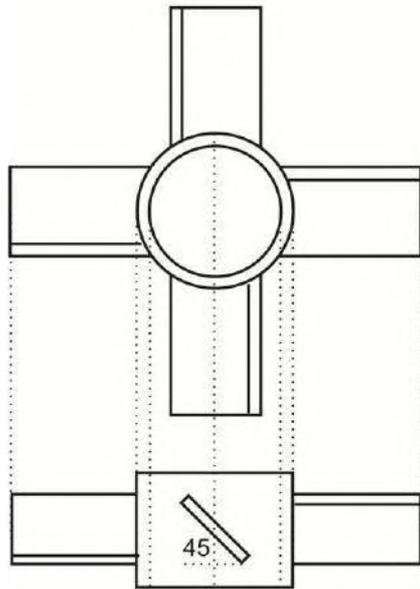
Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan simulasi menggunakan software CFD ANSYS® 15.0 *Academic Package* dengan lisensi *software* milik Jurusan Teknik Kimia ITS. Untuk permodelan geometri digunakan Design Modeler® dengan penentuan jumlah *grid* dan *node* menggunakan Meshing®. Perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®.

3.1 Sistem yang Dipelajari

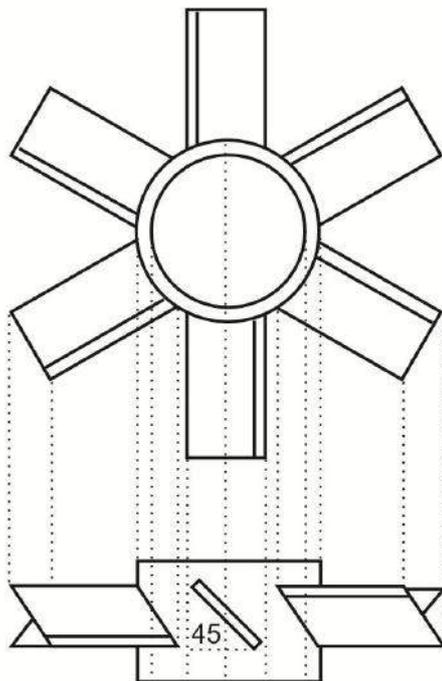
Sistem yang digunakan dalam penelitian *side entering mixer* adalah tangki silinder dengan bagian dasar datar (*flat bottomed cylindrical tank*) dengan diameter $D=40$ cm dan tinggi $H=60$ cm. Impeller *inclined fan turbine 45°* yang digunakan mempunyai 4 blade dan 6 blade dengan diameter $d=3$ cm dan $d=4$ cm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 dengan dimensi pada Tabel 3.1.



Gambar 3.1 Dimensi Tangki



Gambar 3.2 Geometri *Inclined Fan Turbine Impeller 4 Blade*



Gambar 3.3 Geometri *Inclined Fan Turbine Impeller 6 Blade*

Tabel 3.1 Rincian Dimensi Peralatan

D [cm]	H [cm]	d/D [-]	s/D [-]	W/d
40	60	0,075	0,1	0,2
		0,1		

3.2 Bahan yang Digunakan

Sistem yang digunakan merupakan *single-phase*. Yang mana fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah liquid berupa air. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini memiliki properties seperti di bawah ini:

Tabel 3.2 Properti Liquid yang Digunakan pada Simulasi

Liquid
Air
Temperature 37°C
Densitas 998,2 kg/m ³
Viskositas 0,001003 kg/m.s

3.3 Permodelan

Dalam simulasi ini digunakan pemodelan sebagai berikut.

a. *Viscous Model menggunakan k-ε standard*

Turbulensi adalah suatu keadaan dimana aliran fluida bersifat acak, kecepatan fluida di suatu titik selalu berubah-ubah terhadap waktu. Turbulensi adalah fenomena tiga dimensi, tergantung waktu dan non-linear. Pada aliran turbulen, secara kontinu, terbentuk pusaran-pusaran besar yang kemudian terpecah menjadi pusaran-pusaran yang lebih kecil dan akhirnya menghilang.

Pemodelan turbulensi yang paling umum ialah standart k-ε model dimana model ini merupakan model semi empiris yang didasarkan pada model persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) dan laju dissipasi (ε). Dalam menurunkan model k-ε, asumsi yang digunakan adalah alirannya turbulen dan

efek viskositas molekularnya diabaikan. Model k-ε standard valid jika alirannya *fully turbulent*. Energi kinetik turbulen k dan laju dissipasi ε diperoleh dari persamaan transport berikut ini :

Untuk *turbulent kinetic energy*, k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (1)$$

Untuk *dissipation*, ε :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

Dengan kata lain,

Rate perubahan k atau ε + perpindahan k atau ε oleh konveksi = perpindahan k atau ε oleh difusi + rate produksi k atau ε – rate destruksi k atau ε

Dimana :

μ_i menunjukkan komponen kecepatan dalam arah yang berhubungan

E_{ij} menunjukkan komponen rate deformasi

μ_t menunjukkan viskositas eddy

Viskositas turbulen (μ_t) atau viskositas eddy, dihitung dengan cara :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana : C_μ : konstanta

Konstanta model seperti $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$, C_μ , σ_k , dan σ_ε mempunyai angka pasti yaitu :

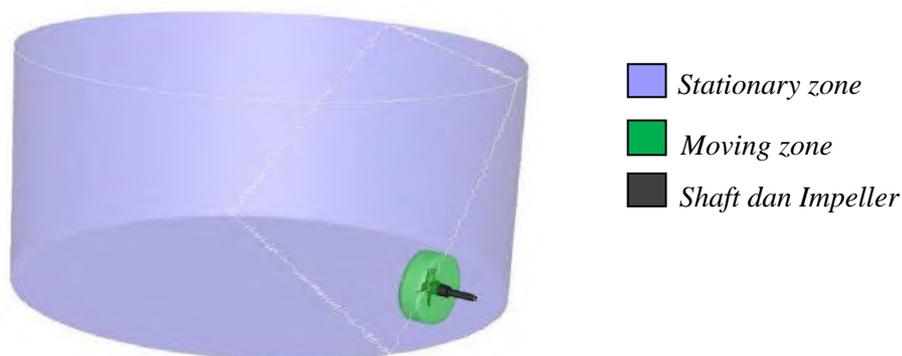
$C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1$, dan $\sigma_\varepsilon = 1.3$.

Nilai ini berdasarkan dari eksperimen untuk fundamental aliran turbulen.

b. Pemodelan Impeller

Pada simulasi berbasis CFD, pergerakan impeller dapat dirumuskan menggunakan 2 model yaitu *Sliding Mesh* dan *Multiple Reference Frame*. Model *Sliding Mesh* (SM) sering digunakan untuk memodelkan rotating impeller dibandingkan dengan metode lain karena metode ini memungkinkan untuk memodelkan perputaran impeller secara realistis tanpa penambahan semi-empirical source term pada persamaan momentum. Domain dari SM dibagi menjadi dua, yaitu *inner rotating mesh* yang melingkupi impeller dan *outer stationary mesh* yang mengisi bagian selain *inner rotating mesh* pada tangki. Interface kedua zona terletak diantara ujung impeller dan baffle.

Pada penelitian ini menggunakan *Multiple Reference Frame* (MRF) yang merupakan salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk memodelkan reaktor berpengaduk. Metode ini mampu mensimulasi aliran dan pencampuran yang dihasilkan oleh impeller dan membutuhkan waktu perhitungan yang lebih singkat. MRF adalah pendekatan *steady state* dimana masing-masing cell zone bergerak pada kecepatan rotasional/translasional yang berbeda. Aliran masing-masing cell zone diselesaikan menggunakan persamaan moving reference frame. Untuk tangki pencampur yang dilengkapi impeller maka tangki dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah stationer di bagian luar yang menggunakan dinding tangki *reference frame* dan daerah bergerak di bagian dalam yang menggunakan impeller sebagai *reference frame*.



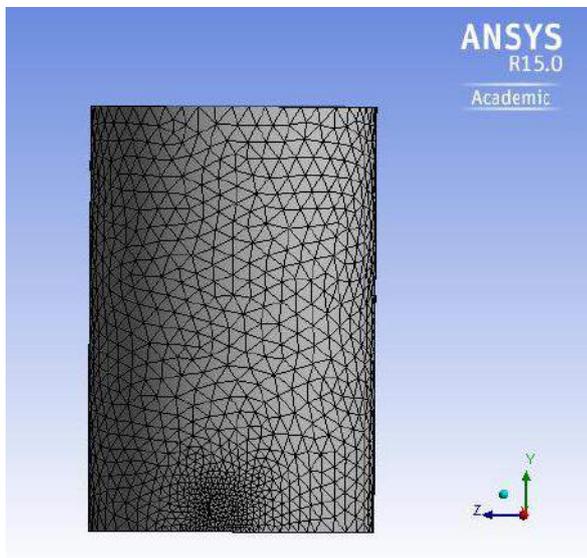
Gambar 3.4 Pembagian Zona dalam Tangki Berpengaduk

3.4 Prosedur Simulasi

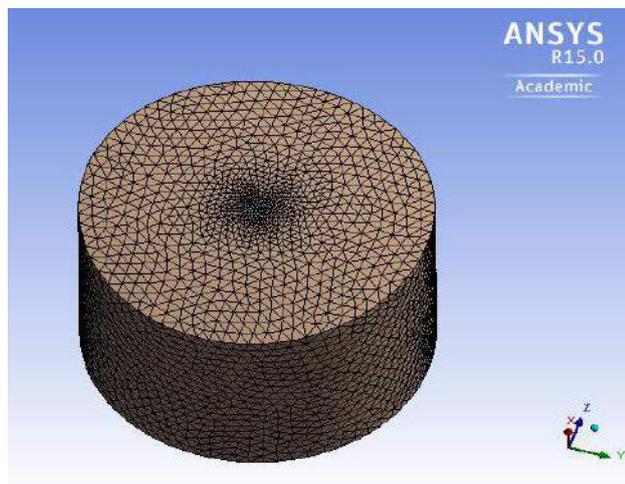
Prosedur simulasi menggunakan 3 tahap yaitu *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*.

3.4.1 Tahap *Pre-Processing*

Tahap *Pre-processing* meliputi pendefinisian geometri, *meshing* dan pengumpulan data yang diperlukan untuk tahap *solver*. Penggambaran geometri dan *meshing* menggunakan *DesignModeler*[®]. Membuat grid menggunakan *Meshing*[®] untuk *stationary zone* dan *rotating (moving) zone* untuk aliran fluida, dan mendefinisikan *boundary condition*.



Gambar 3.5 Hasil *Meshing* untuk *Stationary Zone*



Gambar 3.6 Hasil *Meshing* untuk *Moving Zone*

Sedangkan untuk properties grid tangki berpengaduk ditunjukkan tabel di bawah ini :

Tabel 3.3 Properties Grid Tangki Berpengaduk

<i>Parameter</i>	<i>Cell Zone</i>	
	<i>Stationary zone</i>	<i>Moving zone</i>
<i>Grid (cell)</i>	54268	356834
<i>Face</i>	110771	720917
<i>Nodes</i>	10228	63554
<i>Skewness</i>	0,2125	0,24709
<i>Orthogonal quality</i>	0,86220	0,85073

3.4.2 Tahap Solver

Metode *solver* yang digunakan adalah SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations*). Algoritmanya yakni memperkirakan medan kecepatan yang diperoleh dengan memecahkan persamaan momentum. Istilah gradien tekanan dihitung dengan menggunakan distribusi tekanan dari iterasi sebelumnya atau dugaan awal. Persamaan tekanan dirumuskan dan diselesaikan untuk mendapatkan distribusi tekanan baru. Kecepatan diperbaiki dan satu set baru fluks konservatif dihitung. Persamaan momentum dan koreksi tekanan persamaan *discretized* diselesaikan secara implisit, di mana koreksi kecepatan dipecahkan secara eksplisit . Ini adalah alasan mengapa disebut "Metode Semi - Implisit " .

Selanjutnya, menggunakan nilai-nilai *under relaxation factor*, yang mana masing-masing variabel merupakan suatu persamaan yang mana solver sedang mencoba untuk memecahkannya. Setiap iterasi nilai yang diperoleh untuk variabel harus lebih dekat. Kadang-kadang untuk banyak alasan, solusinya bisa menjadi tidak stabil sehingga faktor relaksasi

digunakan untuk mengambil bagian dari nilai dari iterasi sebelumnya untuk mendapatkan solusi dan memotong osilasi curam. Berikut nilai-nilai yang digunakan :

Tabel 3.4 Nilai *Under Relaxation Factors* yang Digunakan

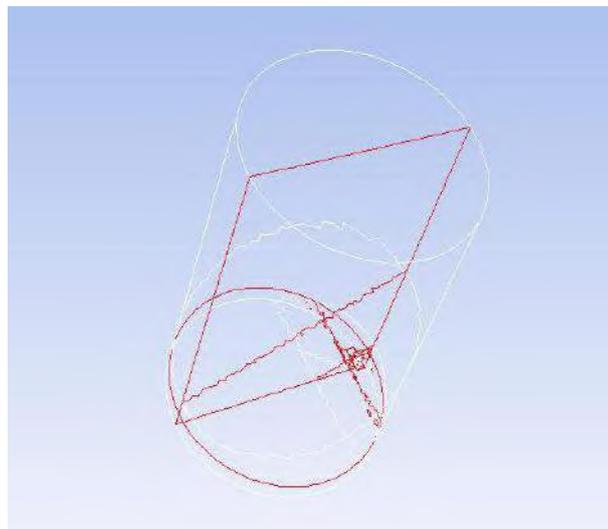
Pressure	0,3
Density	0,6
Body Forces	0,6
Momentum	0,5
Turbulent Kinetic Energy	0,8
Turbulent Dissipation Rate	0,8
Turbulent Viscosity	1

3.4.3 Tahap *Post-Processing*

Tahapan *post-processing* meliputi karakterisasi pola alir secara visual dilakukan pada bidang pengamatan yang terletak membelah impeller menjadi dua bagian yang sama besar baik horizontal maupun vertikal.

3.4.3.1 Bidang Pengamatan

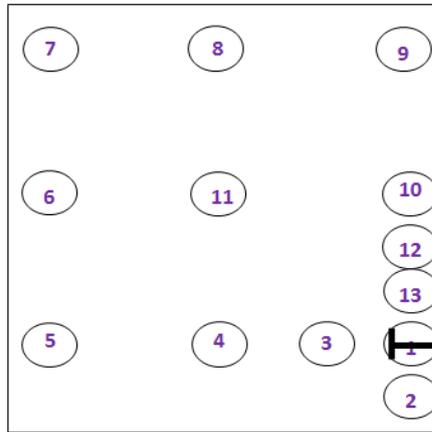
Bidang yang diamati pada penelitian ini adalah bidang vertikal dan horizontal tepat memotong impeller.



Gambar 3.7 Bidang pengamatan vertikal dan horizontal

3.4.3.2. Distribusi kecepatan

Menentukan point di dalam tangki sehingga pada point yang sama, kecepatan tiap variabel bisa dibandingkan.



Gambar 3.8 Distribusi kecepatan dalam tangki

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam sistem ini adalah :

1. Fluida yang digunakan :

- Liquid berupa air

2. Variabel kecepatan putar :

- 100 rpm
- 200 rpm
- 300 rpm
- 400 rpm

3. Jenis Impeller :

- 4 blade, diameter impeller 3 cm dan 4 cm
- 6 blade, diameter impeller 3 cm dan 4 cm

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan *software* FLUENT 15.0. dalam penelitian melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat diperoleh variasi pola alir dan waktu pencampuran (*mixing time*). Pemodelan turbulensi pada simulasi ini menggunakan *standard k-ε*. Simulasi dilakukan dengan metode *transient* yang dilakukan pada *time step* 0.01 s, *number of time step* 6000 dengan *maximal iteration per time step* sebesar 20.

Fluida yang digunakan adalah *single phase*. Dimana fase liquidnya adalah air. Simulasi ini menggunakan sistem *batch*. Tangki yang digunakan berdiameter 40 cm dan tinggi 60 cm, dengan *inclined fan turbine 45°* berdiameter 3 cm dan 4 cm. Pada masing-masing diameter impeller yang memiliki 4 blade dan 6 blade diberikan kecepatan putar 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm.

4.1 Identifikasi Pola Alir

Pada penelitian ini digunakan *side entering mixer* yang memiliki bidang pengamatan vertikal dan horizontal untuk mengetahui fenomena penting yang terjadi di dalam tangki. *Plane* vertikal dan horizontal ini digunakan untuk memperlihatkan pola alir fluida.

Pola aliran di dalam bejana berpengaduk tergantung pada jenis dan konfigurasi impeller, karakteristik fluida, ukuran dimensi (proporsi) tangki, *baffle*, dan kecepatan putar. Pada penggunaan tangki berpengaduk untuk biogas, faktor hidrodinamika dalam hal ini yakni konfigurasi impeller berpengaruh pada pengeluaran gas dari dalam reaktor pada proses fermentasi. Pada konfigurasi impeller yang tepat, pola alir yang terbentuk mampu memberikan dorongan yang kuat terhadap gas sehingga gas dapat keluar dengan mudah dari dalam reaktor. Kecepatan pengadukan memberikan efek yang signifikan terhadap pergerakan gas. Pengadukan berpengaruh besar terhadap laju produksi gas. Pengadukan membantu mempercepat transfer gas dari fase liquid dalam bioreaktor.

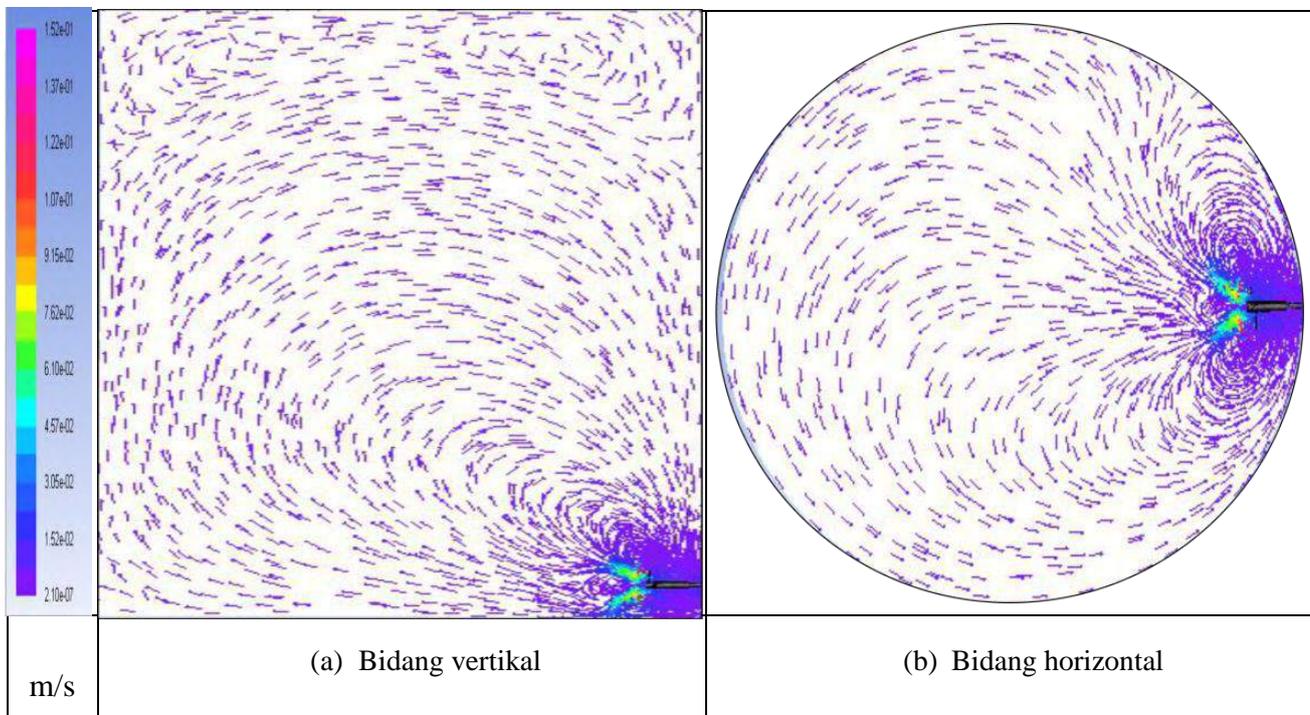
Kecepatan fluida pada setiap titik dalam tangki mempunyai tiga komponen arah dan pola aliran keseluruhan di dalam tangki itu bergantung pada variasi ketiga komponen arah kecepatan tersebut dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Komponen kecepatan yang pertama adalah komponen radial yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap poros impeller. Komponen kedua adalah komponen longitudinal yang bekerja pada arah paralel dengan poros impeller. Komponen ketiga adalah komponen tangensial atau rotasional yang bekerja pada arah singgung terhadap lintasan lingkaran (melingkar) di sekeliling poros. Dalam keadaan biasa, dimana poros impeller terpasang vertikal, komponen radial dan tangensial berada dalam satu bidang horizontal dan komponen longitudinalnya vertikal.

Impeller *turbine* dikelompokkan berdasarkan pola alirnya yaitu aliran *axial* dan aliran radial. *Inclined fan turbine* merupakan salah satu impeller yang menghasilkan aliran axial. *Axial-flow turbine* mempunyai sirkulasi aliran yang beroperasi secara *pumping up* dan *pumping down*. Aliran fluida yang disebabkan oleh impeller axial dalam tangki berpengaduk pada umumnya diinterpretasikan dengan *one-loop circulation* model, yaitu aliran keluar menuju dasar tangki kemudian pada bagian dasar fluida menyimpang, mengubah arahnya bergerak ke atas sepanjang dinding tangki, aliran fluida kemudian bergerak secara radial masuk ke arah kembali turun menuju impeller menutup sirkulasi *loop*. Namun pada kenyataannya terdapat pola aliran lain yang terbentuk di sekitar impeller dimana kemunculan pola alir tersebut tidak beraturan dan juga tidak stabil. Pola alir tersebut dipengaruhi beberapa faktor antara lain kecepatan putar impeller, ukuran diameter impeller, jumlah blade impeller dan pembentukan pusaran/*vortex* juga berpengaruh. Pola ini menarik diamati karena adanya variasi tersebut menunjukkan ketidakstabilan dalam suatu pengadukan yang dikenal sebagai fenomena makroinstabilitas. Ketidakstabilan aliran yang dimaksud yakni dalam skala besar dan frekuensi rendah. Frekuensi kemunculannya rendah, berpengaruh pada pola alir sehingga mempengaruhi pengadukan secara keseluruhan yang juga berarti *life time period* pada setiap pola alir lebih besar dari waktu satu kali putaran impeller. Terjadi pada skala besar memiliki arti fisik ada pergantian mendadak dari pola alir secara keseluruhan sehingga untuk pola alir yang diamati

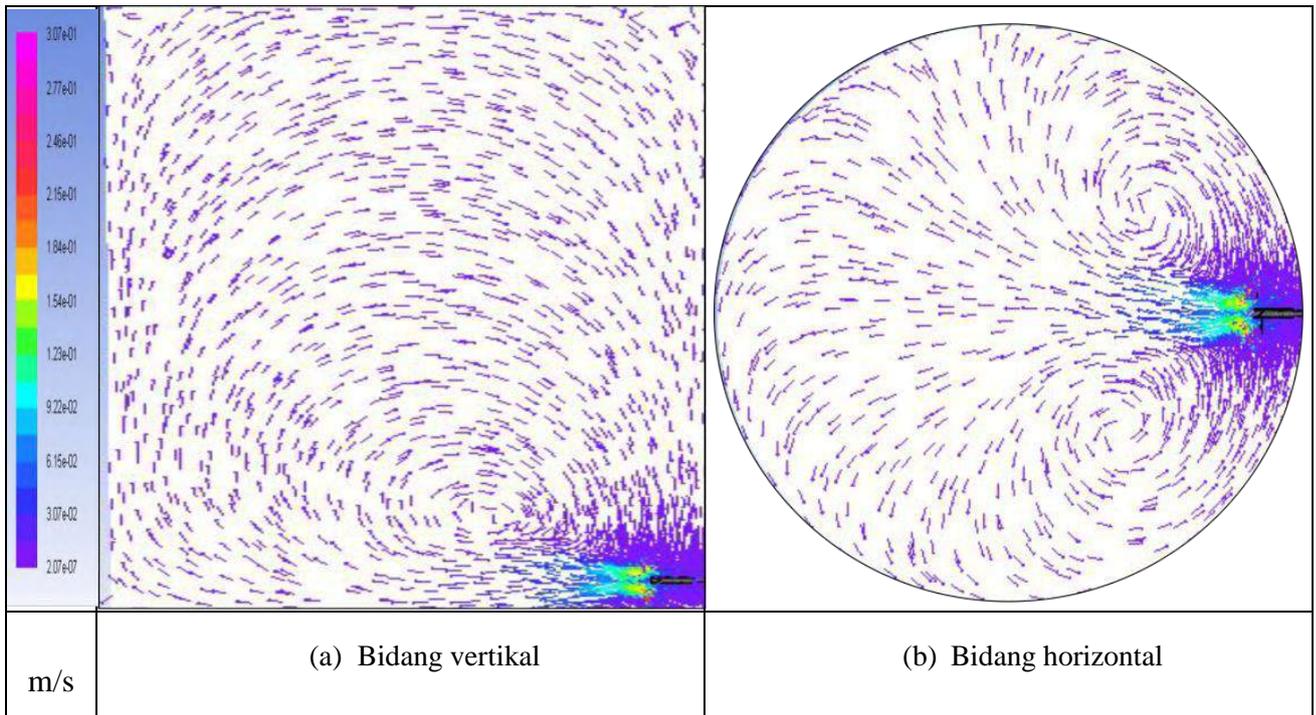
yakni diambil pola alir dominan dari sekian banyak pola alir yang terekam dalam waktu simulasi 60 detik.

Simulasi ini dilakukan dengan metode *transient*. Untuk *running* variabel diameter impeller yakni 3 cm 4 *blade*, 3 cm 6 *blade*, 4 cm 4 *blade* dan 4 cm 6 *blade* dengan kecepatan 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm dan 400 rpm dihentikan pada time step ke-6000 dengan persen error 10^{-7} . Untuk identifikasi pola alir ini dilakukan dengan melakukan satu fase (*single phase*) menggunakan air sebagai bentuk validasi dari eksperimen yang dilakukan menggunakan air saja sebagai fluida yang berada dalam tangki. Jenis impeller yang sama digunakan dalam penelitian yang dilakukan secara eksperimen.

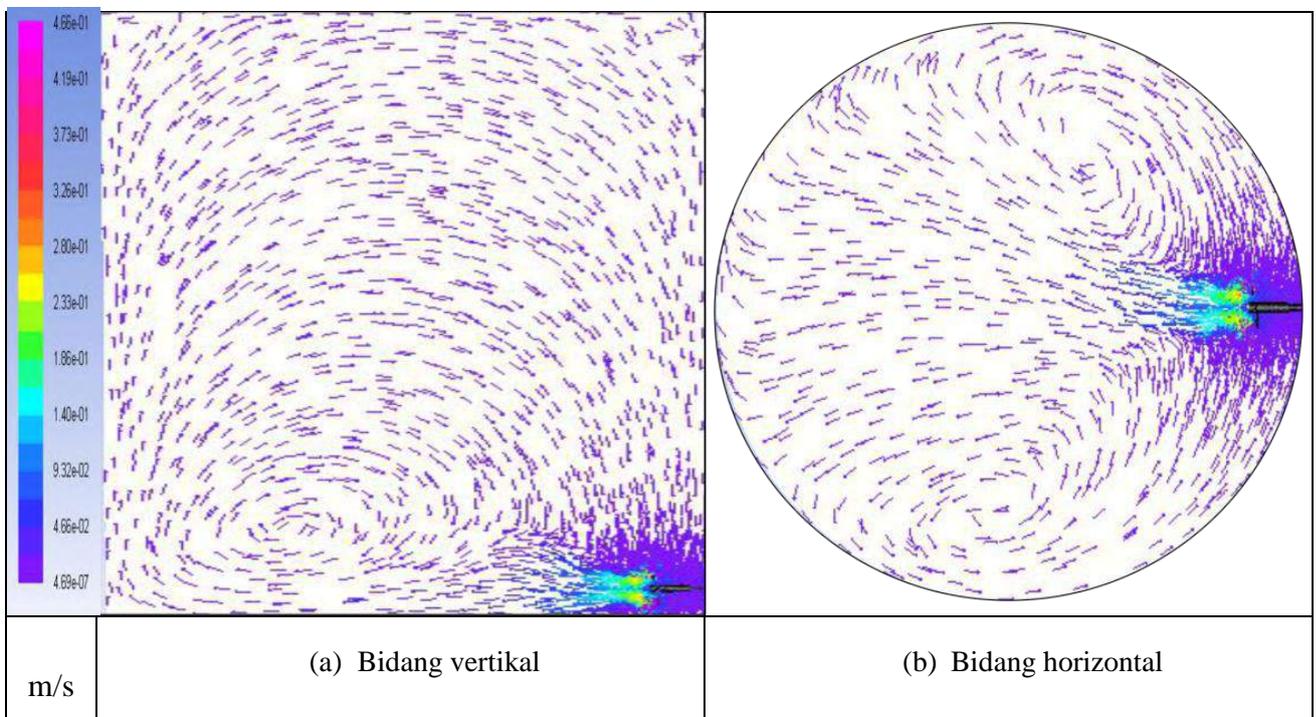
Pola alir dibedakan menjadi 2 bidang pengamatan. Pengamatan dilakukan tepat memotong impeller dengan pengamatan bidang vertikal dan bidang horizontal. Berikut merupakan streamline pola alir rekonstruksi hasil pengamatan selama 60 detik. Pola alir yang disajikan merupakan salah satu gambar yang terekam dari sekian banyak gambar, yang mana merupakan pola alir dominan.



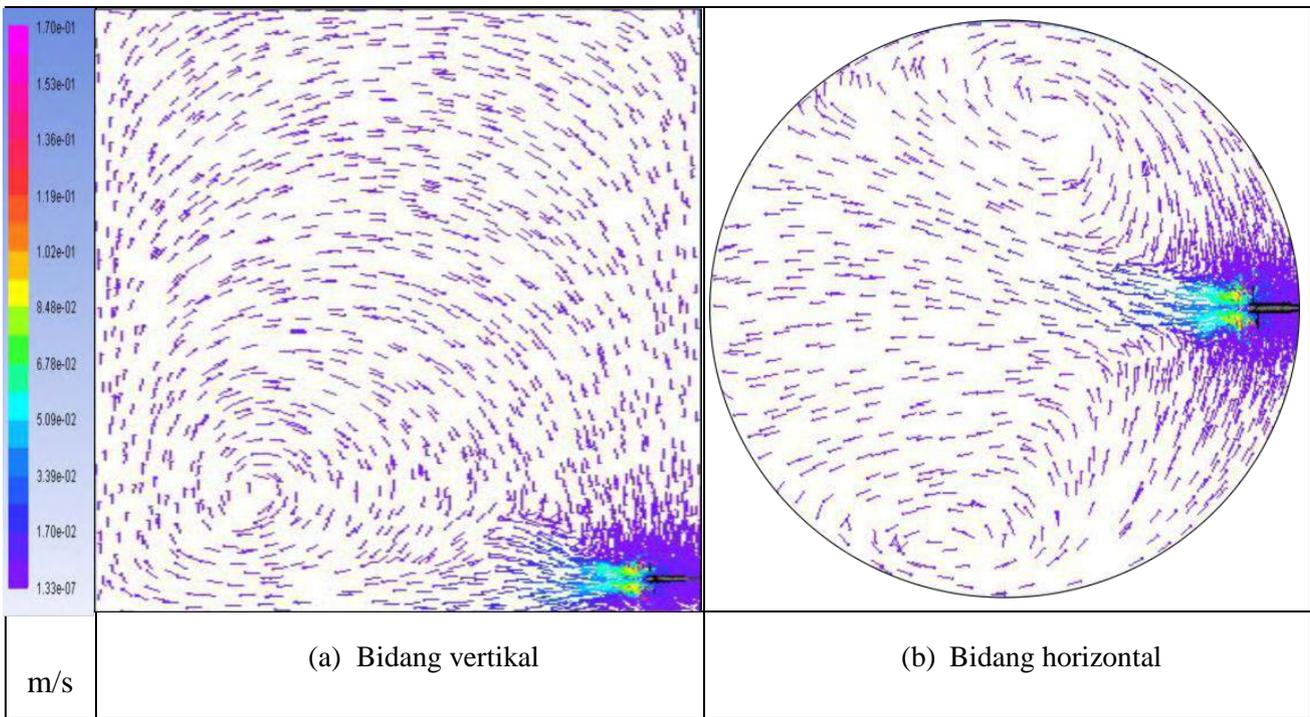
Gambar 4.1. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 100 rpm



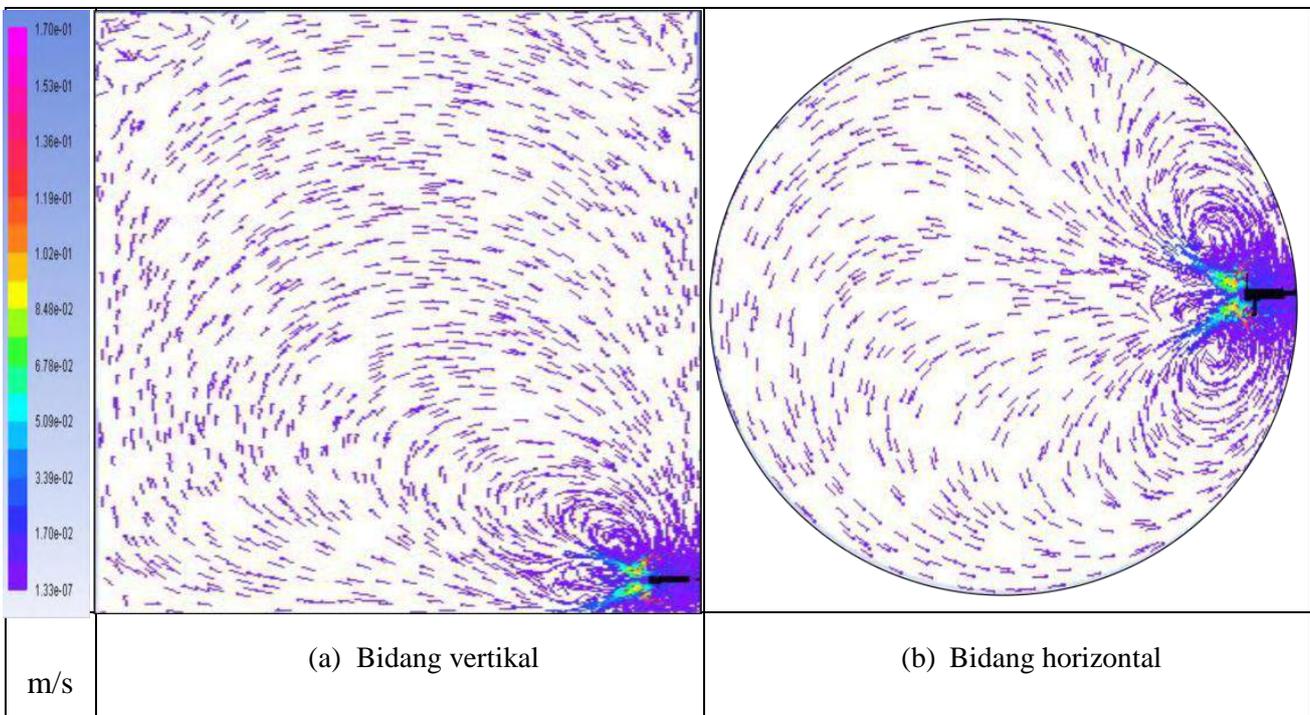
Gambar 4.2. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 200 rpm



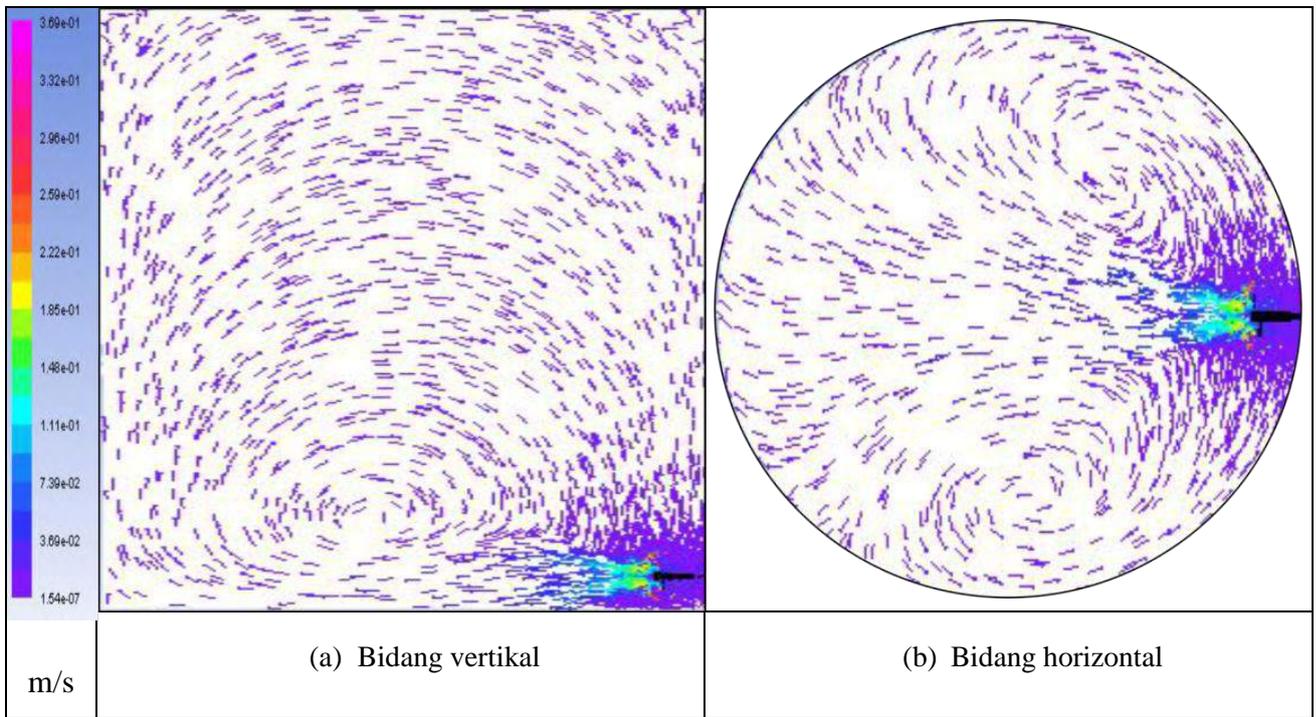
Gambar 4.3. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 300 rpm



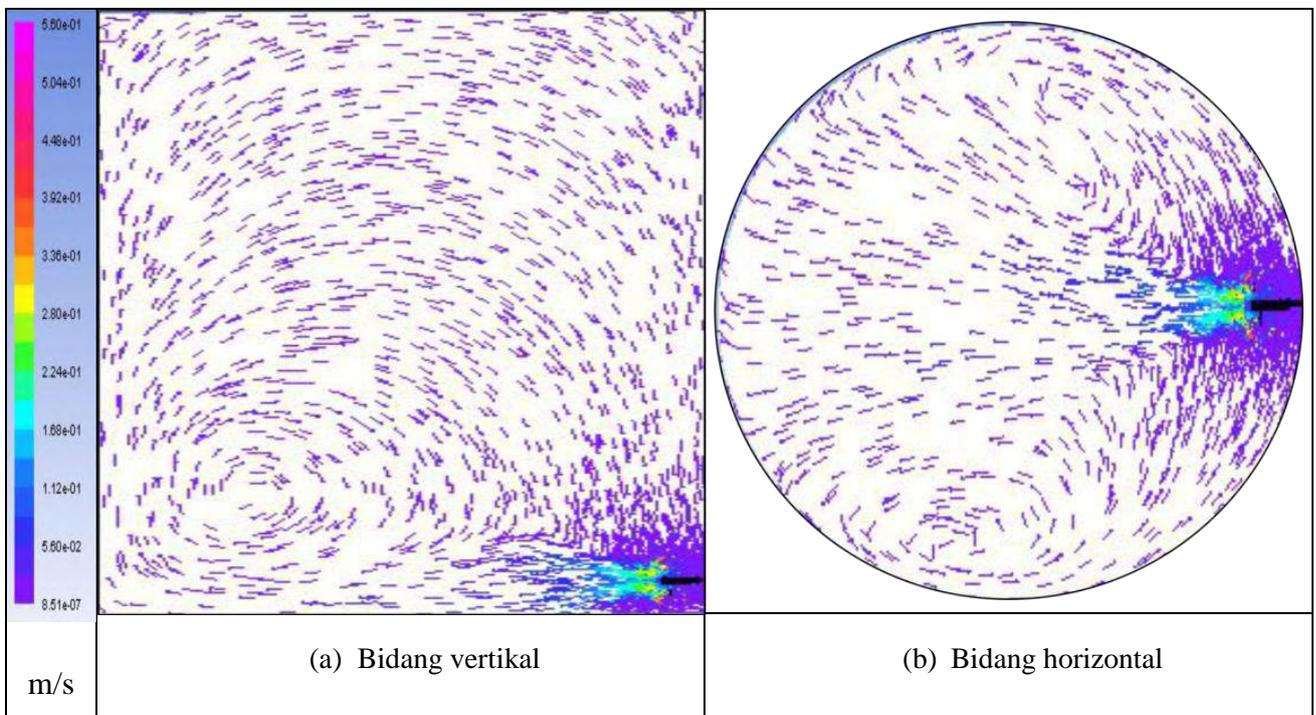
Gambar 4.4. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 400 rpm



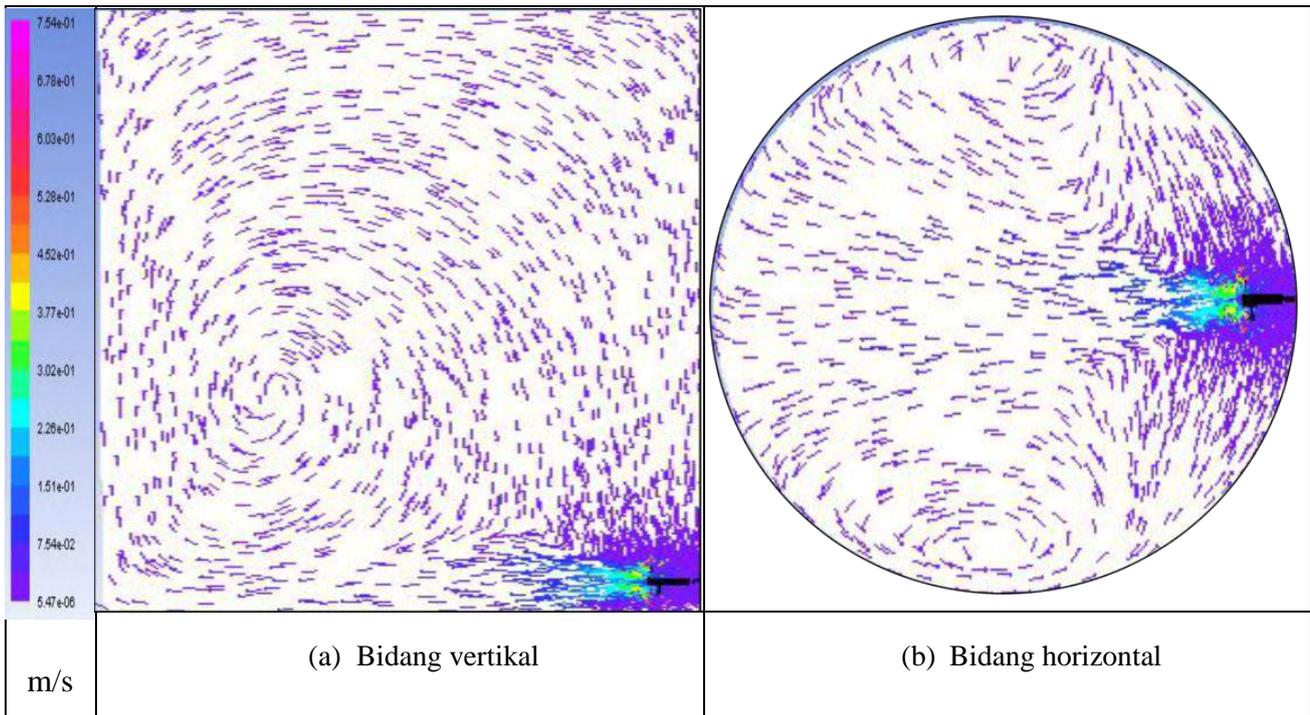
Gambar 4.5. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 100 rpm



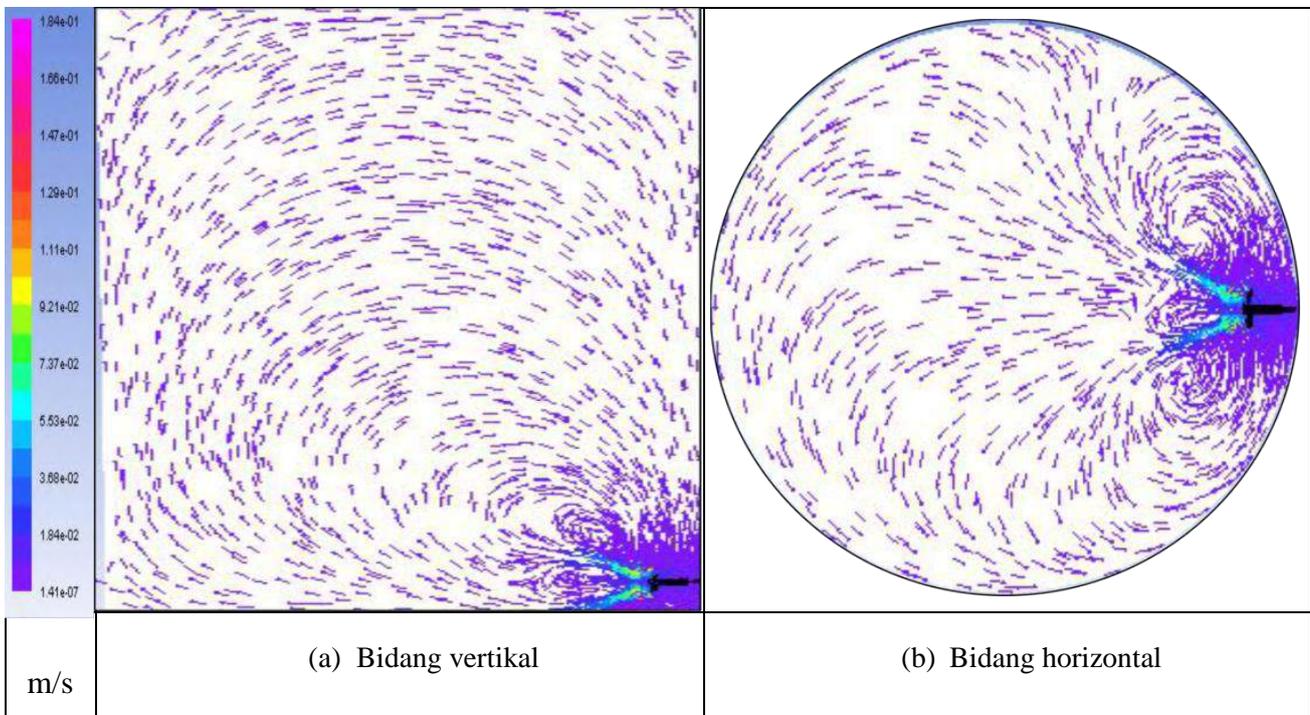
Gambar 4.6. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 200 rpm



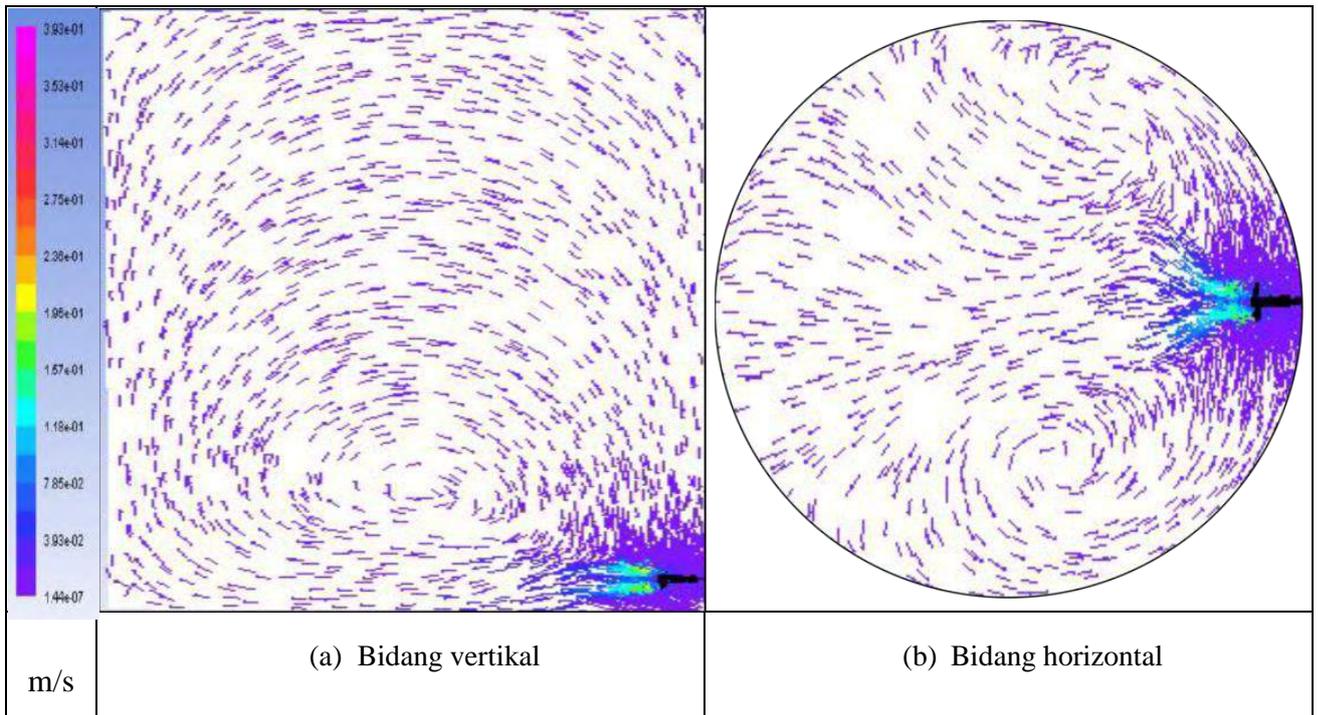
Gambar 4.7. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 300 rpm



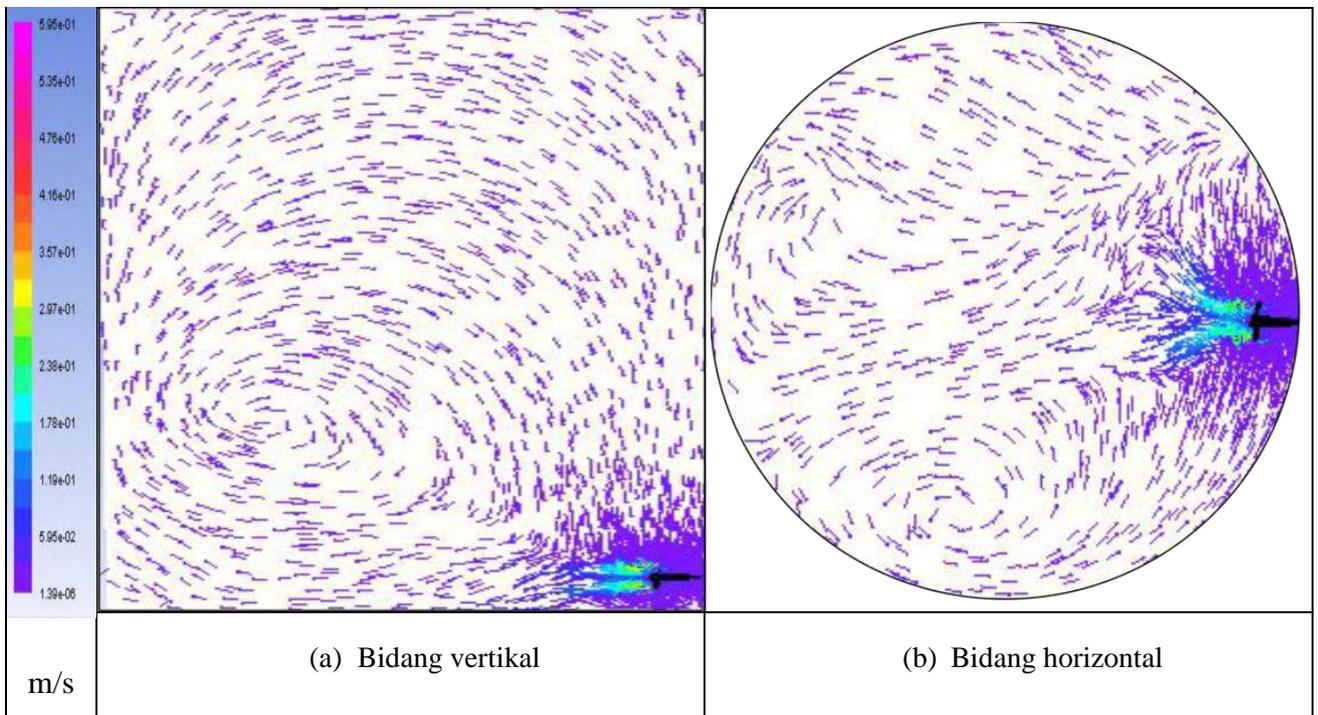
Gambar 4.8. Pola alir dominan 4 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 400 rpm



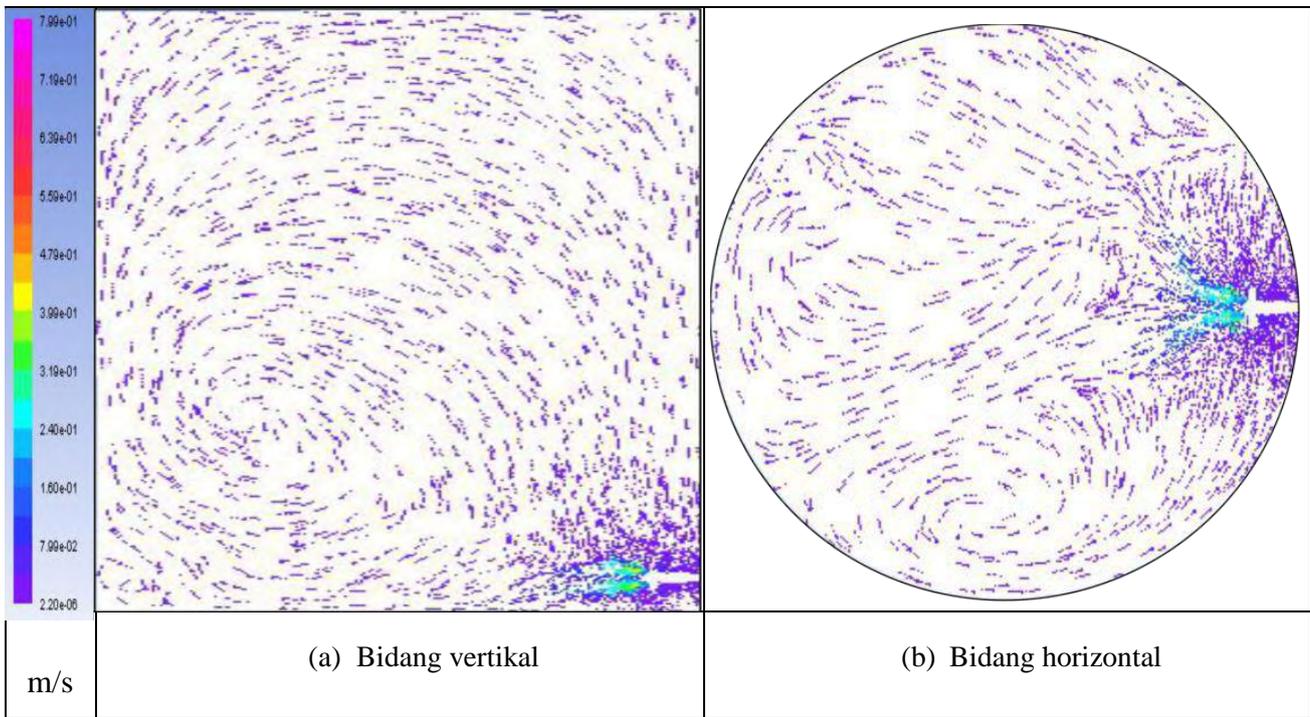
Gambar 4.9. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 100 rpm



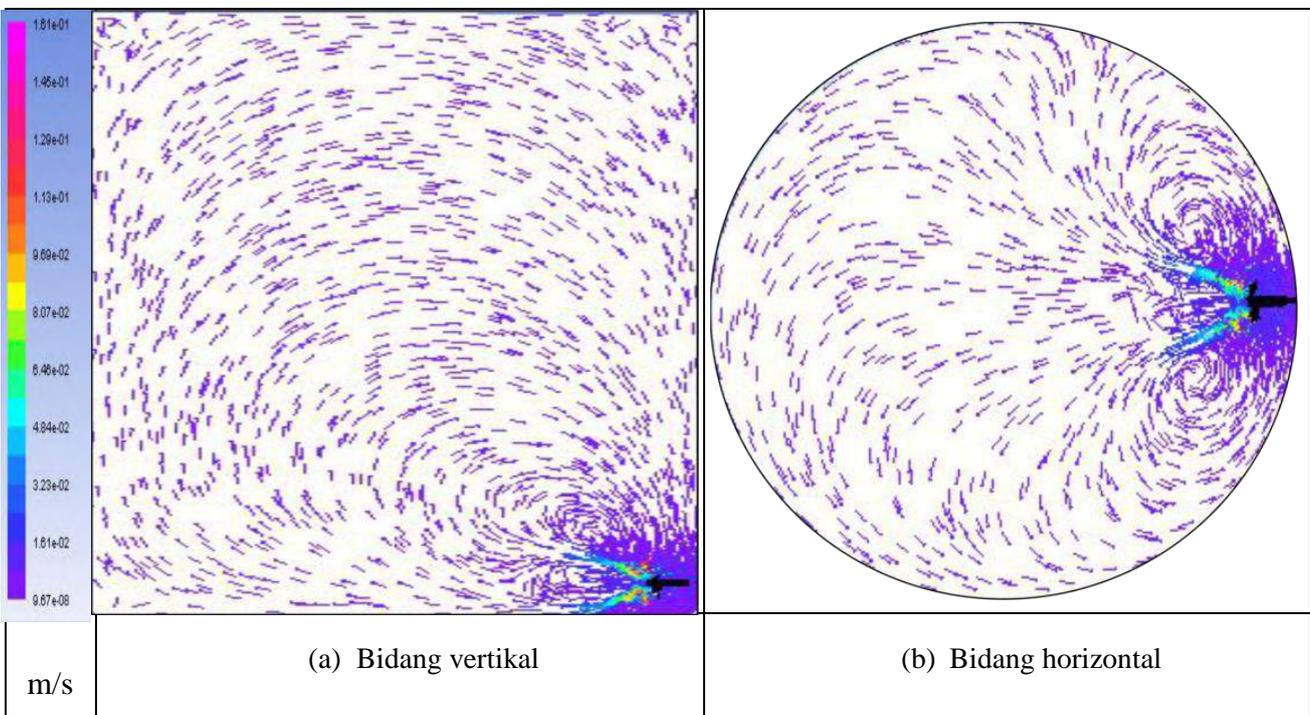
Gambar 4.10. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 200 rpm



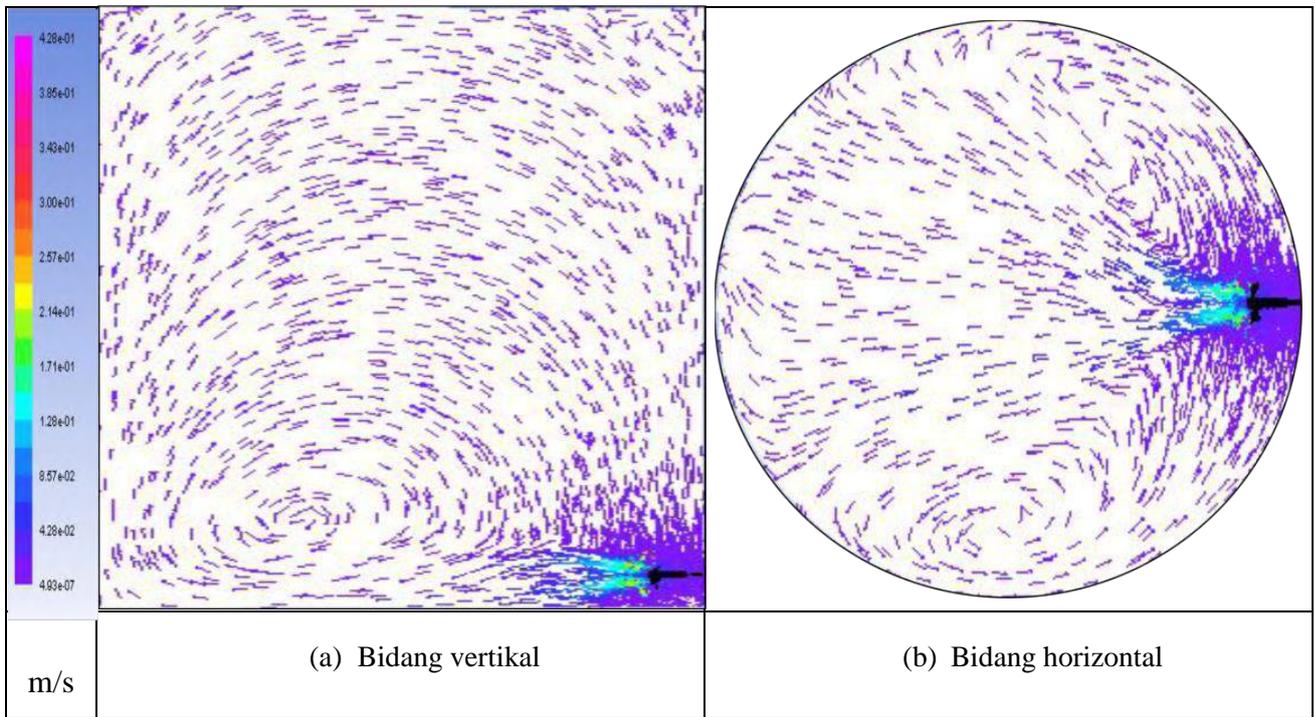
Gambar 4.11. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 300 rpm



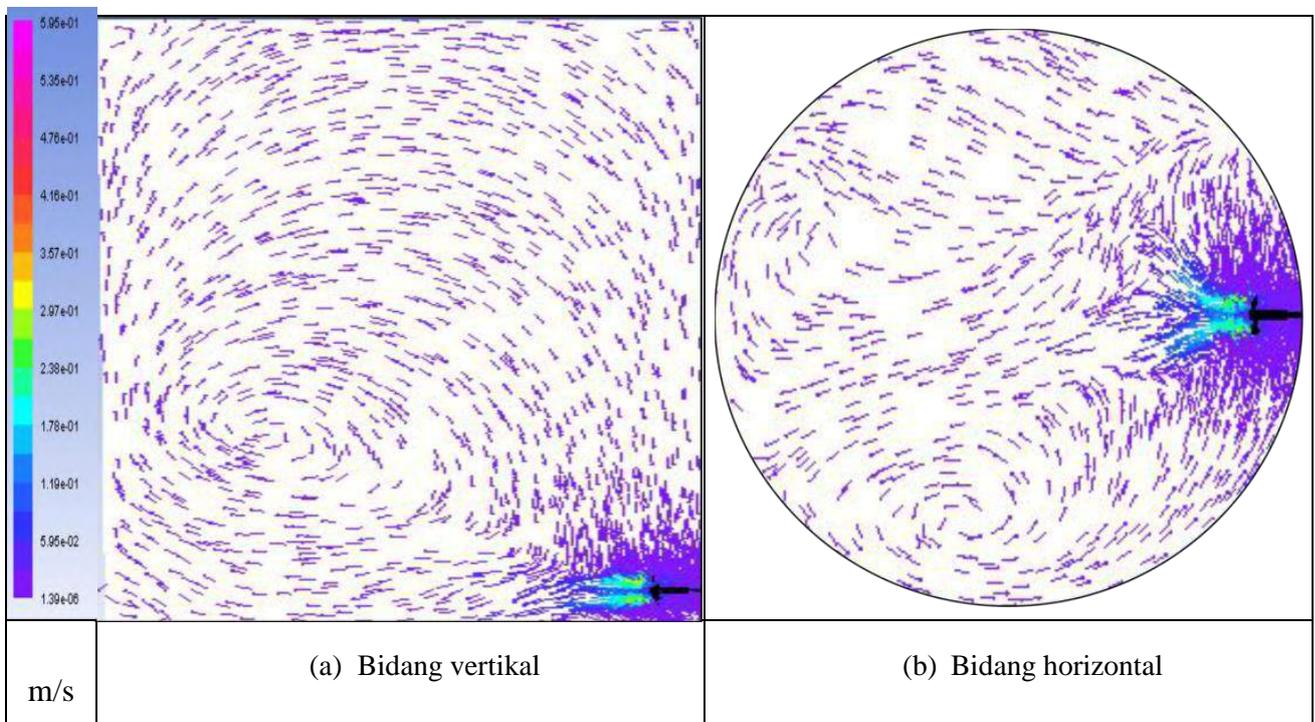
Gambar 4.12. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,075$; kecepatan impeller 400 rpm



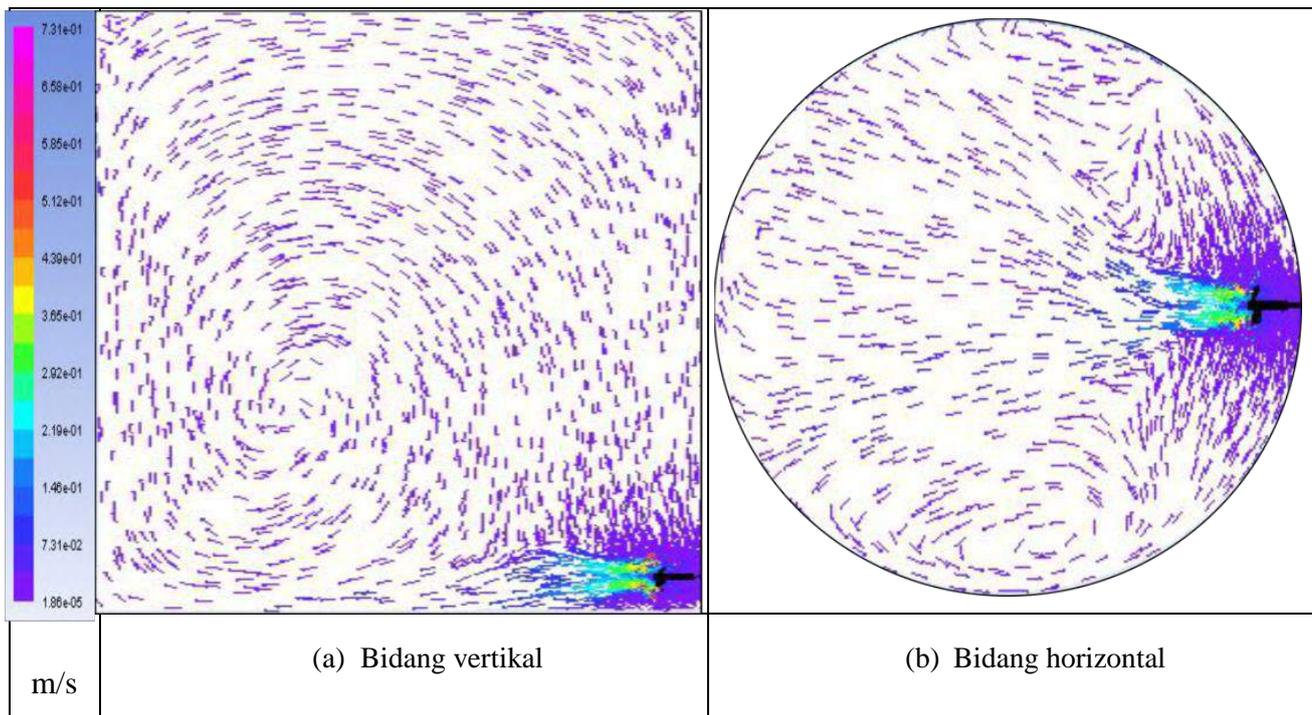
Gambar 4.13. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 100 rpm



Gambar 4.14. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 200 rpm



Gambar 4.15. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 300 rpm



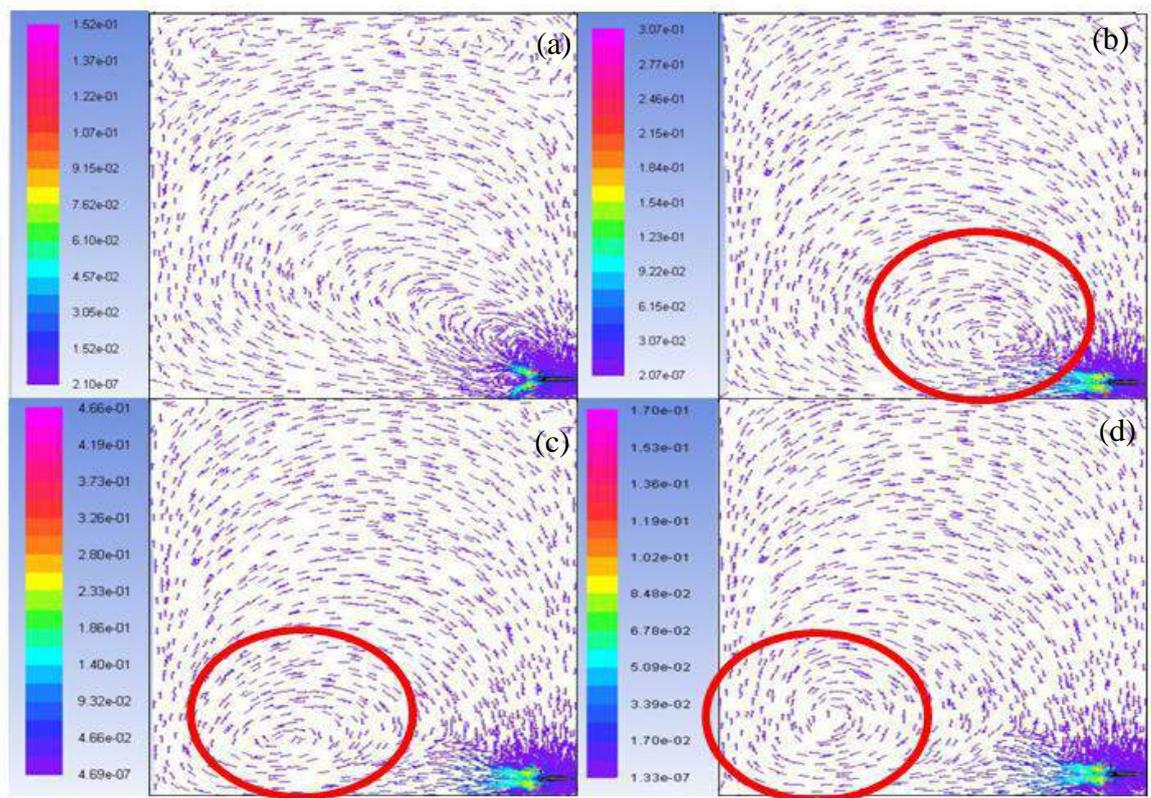
Gambar 4.16. Pola alir dominan 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan impeller 400 rpm

4.1.1 Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Pola Alir

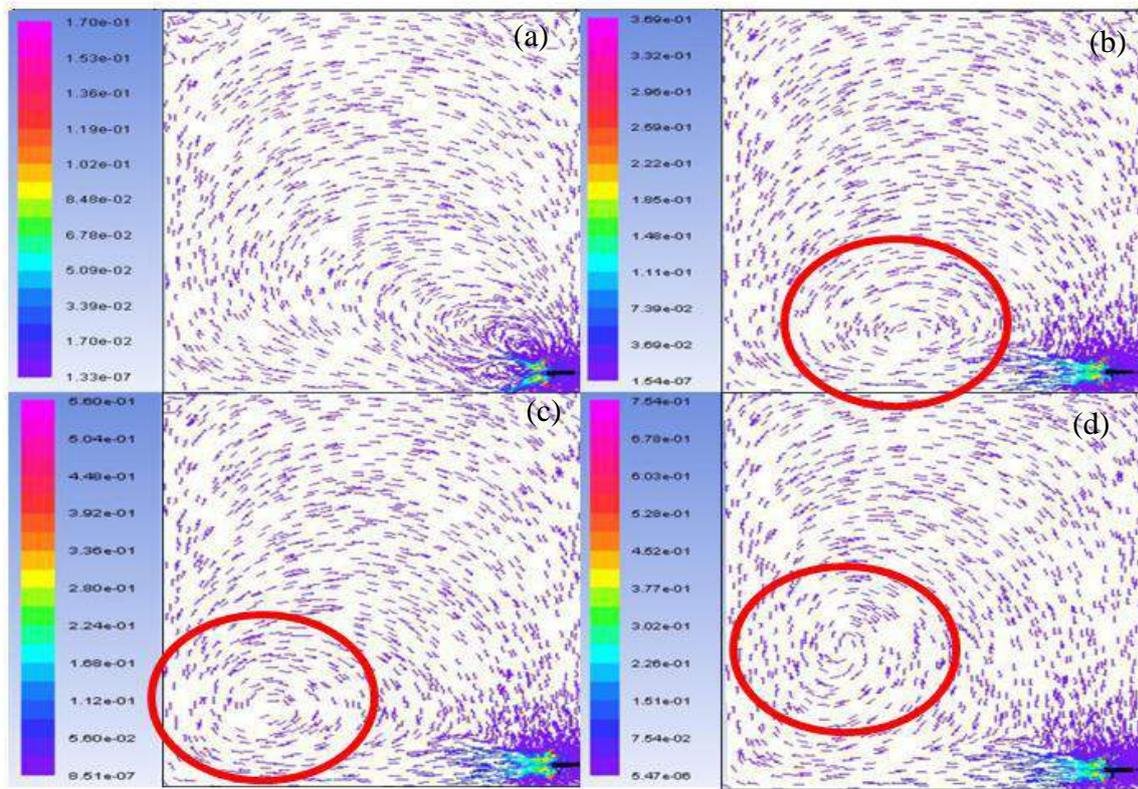
Aliran liquid dalam tangki berpengaduk dengan menggunakan *side-entering mixer* 4- dan 6-blade *inclined fan turbine 45°* berdiameter 3 cm dan 4 cm disimulasikan dalam kondisi konstan (kecepatan impeller dan propertis fluida). Aliran ini sangat kompleks dan bersifat tiga dimensi, serta dioperasikan dalam kondisi turbulenta sehingga karakteristik alirannya memiliki intensitas turbulensi yang besar. Sebagai akibatnya, pola alir dalam konfigurasi tangki ini selalu berubah dengan waktu. Ketidakstabilan aliran dalam skala ruang yang besar dengan frekuensi rendah disebut juga makroinstabilitas. Makroinstabilitas ini ditandai dengan perubahan pola alir skala besar dalam tangki berpengaduk dengan periode tinggi dan frekuensi kemunculannya kecil dimana perubahan pola alir ini memberikan pengaruh yang besar terhadap proses pengadukan. Streamline yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 hingga gambar 4.16 merupakan pola aliran liquid

yang dominan, dimana merupakan salah satu gambar dari sekian banyak gambar yang terekam selama simulasi 60 detik berlangsung.

Secara umum, pola aliran yang ditunjukkan gambar 4.1-4.16 merupakan pola alir yang merujuk pada *one loop circulation flow*. Pada bidang pengamatan vertikal yang diamati tepat memotong shaft impeller, secara kualitatif, *discharge stream* bergerak lurus dari impeller menuju dasar tangki kemudian menyebar dan naik menuju permukaan liquid setelah menabrak dinding tangki. Aliran yang naik ke permukaan liquid kembali menuju impeller. Pada daerah bagian tengah dalam tangki, aliran sirkulasi relatif pelan. Sedangkan untuk bidang pengamatan secara horizontal, secara kualitatif, pada umumnya *discharge stream* dari impeller secara langsung bergerak maju secara horizontal menuju ke dinding, tetapi cenderung ke arah putaran impeller. Sebagian kecil aliran nampak terbagi dua aliran yang kemudian membentuk suatu aliran sirkulasi berkecepatan rendah di sebelah kanan dan kiri dari aliran utama yang bergerak secara horizontal. Kebanyakan aliran bergerak ke bagian atas dinding tangki menuju ke permukaan liquid.

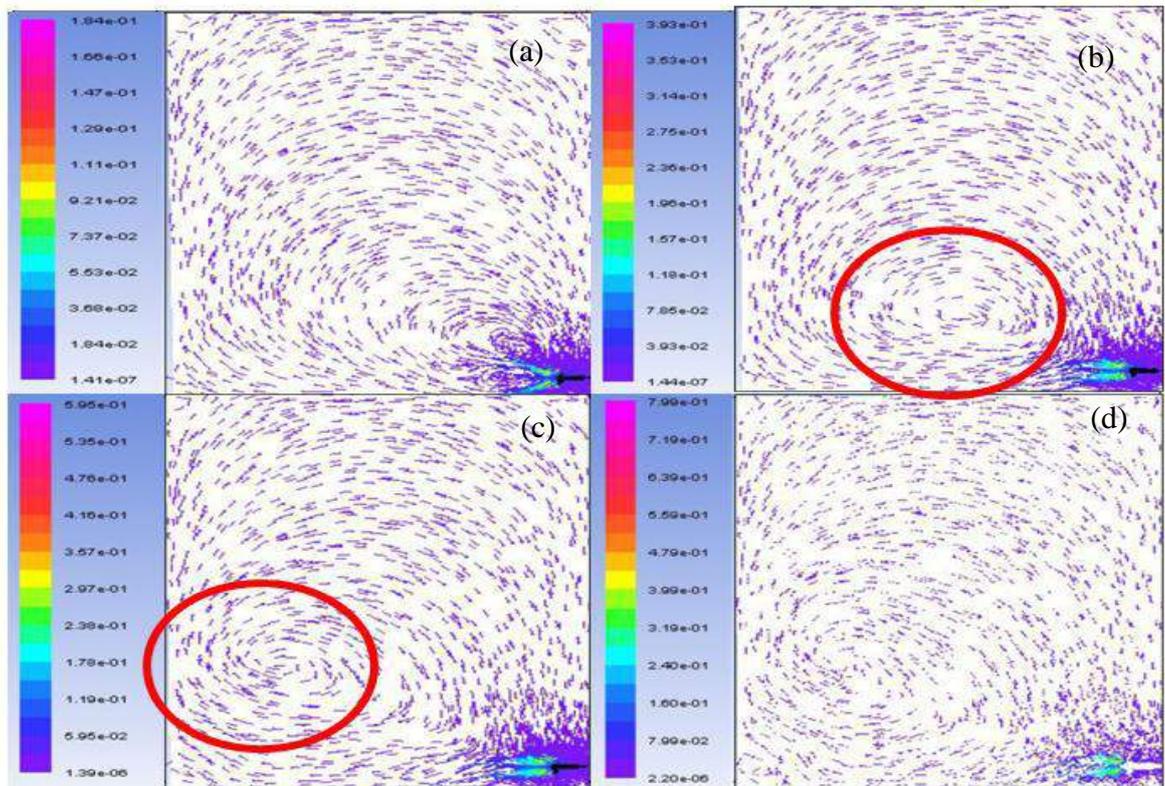


Gambar 4.17. Perbandingan pola alir 4 blade; $d/D = 0.075$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s



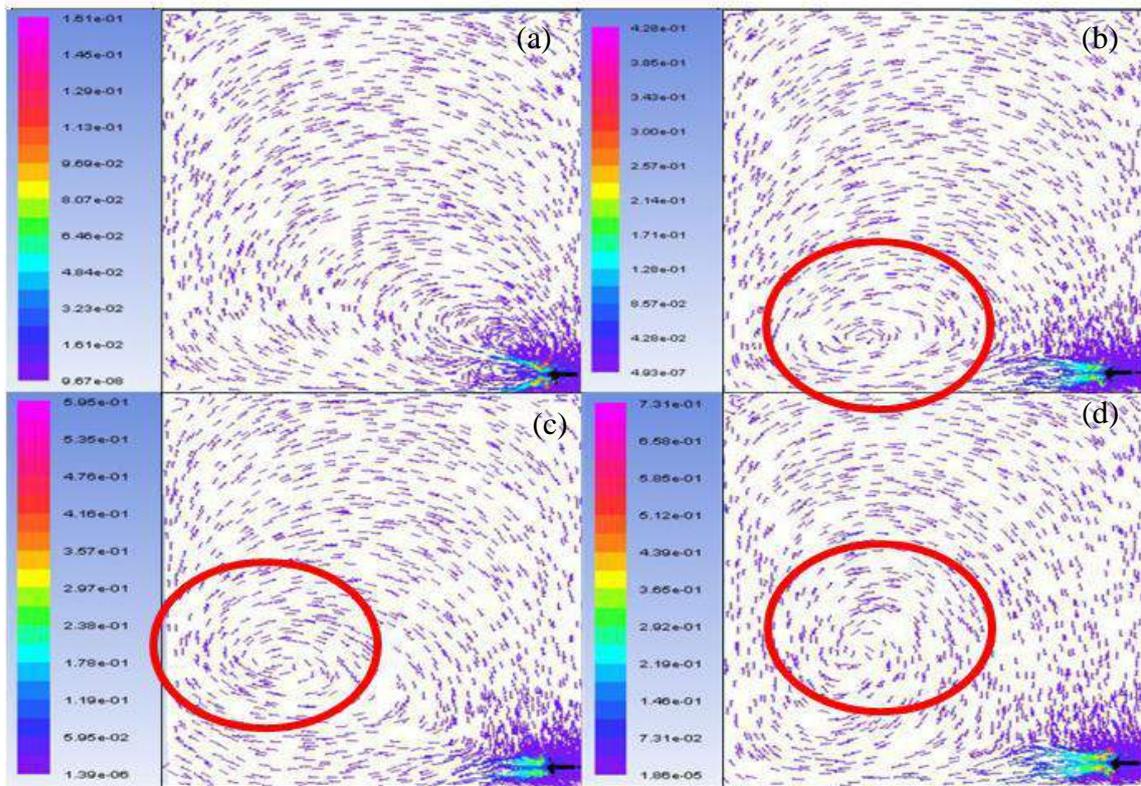
Gambar 4.18. Perbandingan pola alir 4 blade; $d/D = 0.1$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s

Pola aliran yang ditunjukkan memiliki kecenderungan yang sama seperti pola aliran yang disampaikan Desouza and Pike (1972) bahwa pada saat mencapai dinding tangki, radial komponen kecepatan fluida menurun drastis bahkan bisa mencapai 0 pada dinding tangki dengan mengikuti peningkatan komponen aksial. Aliran yang dekat dinding mirip aliran stagnan, dengan titik stagnan berada pada titik dimana plane impeller berpotongan di bagian tengah dengan dinding tangki. Aliran terbagi menjadi dua bagian rata, yang mana ada yang bersirkulasi, sebagian lain kembali ke daerah impeller.



Gambar 4.19. Perbandingan pola alir 6 blade; $d/D = 0.075$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s

Pada gambar 4.17 hingga gambar 4.20 yang menggunakan kecepatan putar impeller 100 rpm menunjukkan pola aliran hampir sama yakni *quick return flow*. Aliran ini mengikuti pola *one loop circulation*, hanya saja setelah aliran dari discharge impeller menuju dinding, sebagian kecil langsung kembali ke daerah impeller, sebagian yang lain bersirkulasi dalam tangki yang kemudian dalam waktu singkat menuju ke daerah impeller lagi sehingga pola yang ditunjukkan seragam menuju impeller. Sedangkan pada peningkatan kecepatan putar menjadi 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm muncul *vortex* dalam aliran di tangki. *Vortex* adalah aliran berputar pada titik tertentu, yang mana pada pusat putaran tidak terlihat adanya aliran. Namun ada keunikan pada gambar 4.19 bahwa pada kecepatan putar 400 rpm tidak muncul *vortex* namun alirannya semakin turbulenta.



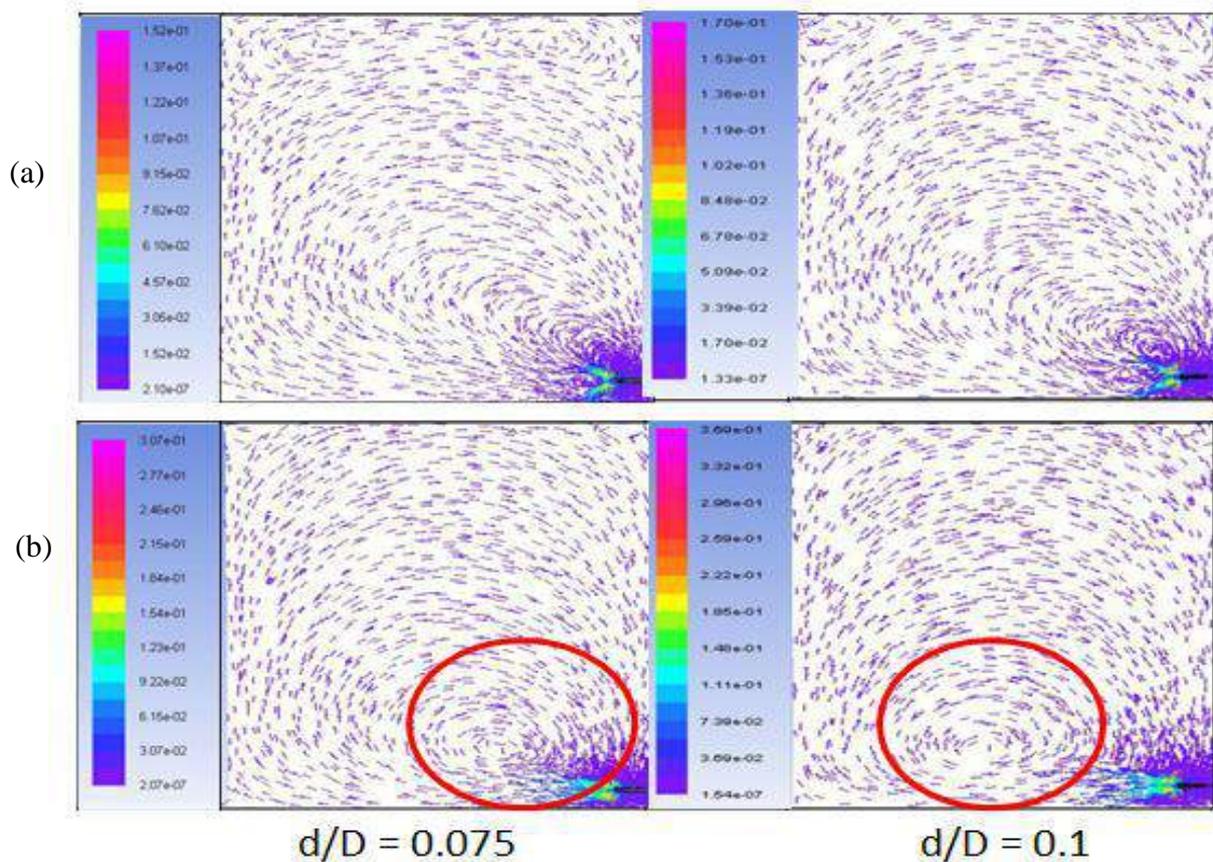
Gambar 4.20. Perbandingan pola alir 6 blade; $d/D = 0.1$; (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm pada kecepatan tertentu dalam m/s

Gambar 4.17 hingga gambar 4.20 yang mana menggunakan 4 blade dengan diameter impeller 3 cm dan 4 cm serta yang menggunakan 6 blade dengan diameter impeller 3 cm dan 4 cm membandingkan pola alir dengan kecepatan putar 100 rpm hingga 400 rpm menunjukkan kecenderungan umum yang sama bahwa dengan adanya peningkatan kecepatan putar impeller, kecepatan aliran discharge impeller meningkat, kecepatan di dalam tangki juga meningkat. Hal ini karena semakin tinggi kecepatan putar impeller, dimana semakin besar energi yang diberikan motor ke impeller kemudian di transfer ke liquid di dalam tangki, maka semakin tinggi pula energi yang diberikan kepada liquid pada aliran discharge, sehingga liquid yang menuju ke bawah tangki akan kembali naik ke atas mengikuti lemparan discharge dari impeller. Hal ini terjadi karena ketika fluida yang bergerak dari daerah discharge kemudian menabrak dinding tangki dan menuju permukaan liquid, aliran liquid akan semakin berkurang energi yang dimilikinya, dan ketika energi itu habis, fluida tidak akan mampu bergerak

menuju sisi berlawanan arah aksial sehingga aliran liquid akan mengikuti gaya gravitasi menuju bagian bawah tangki. Tidak ditemukan daerah stagnan di dalam tangki pada berbagai kecepatan. Selain itu juga terbentuk *vortex* di dalam tangki. Adanya *vortex* tersebut karena pada tangki berpengaduk tanpa baffle, perputaran impeller menghasilkan *vortex* di area sekitar shaft yang berputar dimana kecepatan tangensial kuat dan dominan sehingga kecepatan aksial tidak signifikan. Hal ini menimbulkan adanya aliran yang berputar, permukaan liquid didorong ke dinding tangki dan terhisap di dekat shaft impeller (Sardeshpande et al., 2016; Assirelli et al., 2008). Selain itu, saat kecepatan putar impeller ditingkatkan, *vortex* terbentuk pada permukaan yang sirkulasinya pelan pada arah yang sama dengan putaran impeller dengan kondisi acak. Bagian atas *vortex* meluas dengan meningkatnya kecepatan impeller dan menurunkan level liquid di atas impeller (Desouza and Pike, 1972). *Vortex* yang terbentuk memiliki letak berbeda pada masing-masing kecepatan. Pada kecepatan 200 rpm, *vortex* terbentuk dekat dengan dasar tangki dan pada daerah tengah. Sedangkan dengan peningkatan kecepatan menjadi 300 rpm dan 400 rpm, letak *vortex* bergeser lebih mendekati dengan dinding tangki dan semakin ke atas.

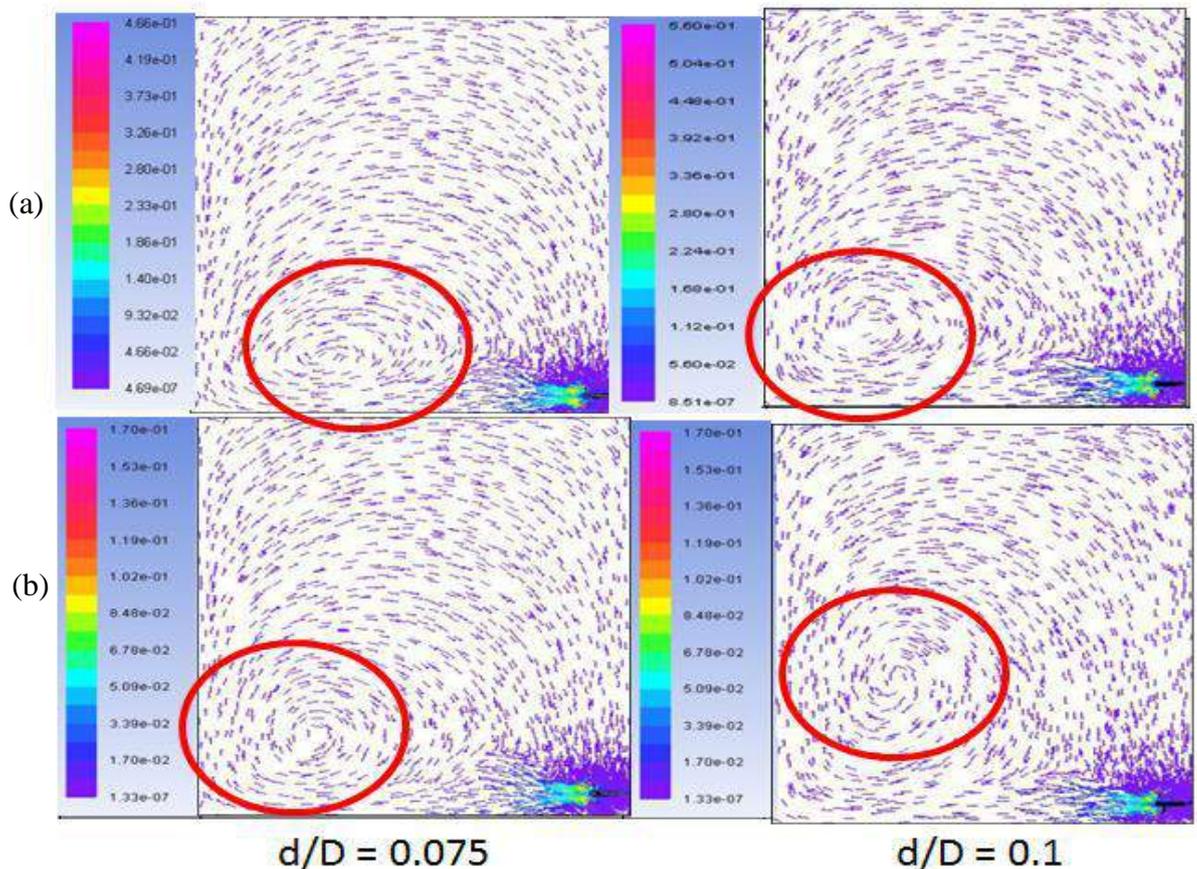
4.1.2 Pengaruh Ukuran Diameter Impeller terhadap Pola Alir

Gambar 4.21 di bawah ini menunjukkan perbandingan pola alir yang mana diberikan kecepatan putar rendah yang sama yakni 100 rpm dan 200 rpm tetapi menggunakan diameter impeller yang berbeda. Pada kecepatan putar 100 rpm, perbandingan pola alir pada kedua ukuran diameter impeller yang berbeda tidak menunjukkan banyak perbedaan. Kecenderungan pola alir *quick return flow* ada pada kedua pola alir. Perbedaan terlihat pada kecepatan aliran di dalam tangki. Tidak ditemukan stagnan area dan *vortex* pada kedua pola alir.



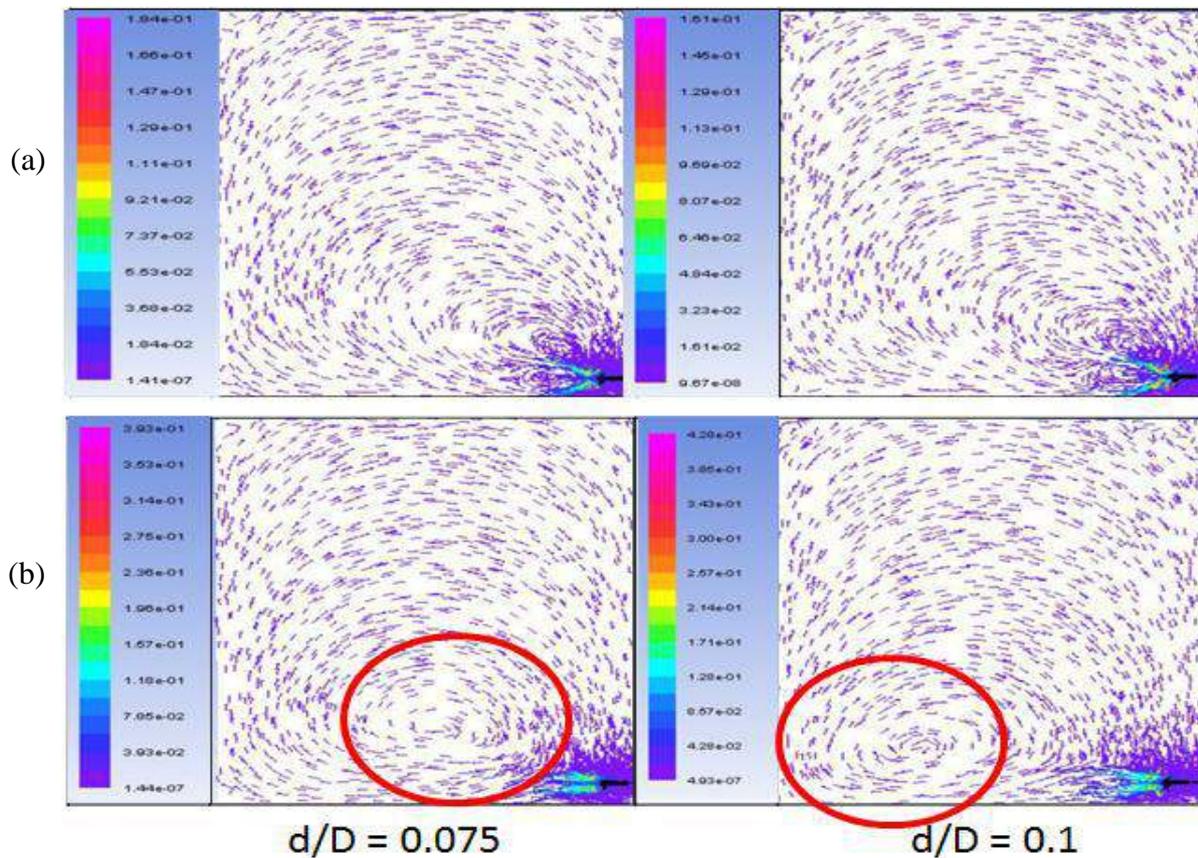
Gambar 4.21. Perbandingan pola alir 4 blade; (a) 100 rpm; (b) 200 rpm untuk $d/D=0.075$ dan $d/D=0.1$

Sedangkan untuk kecepatan putar 200 rpm, pola alir menunjukkan perbedaan. Muncul *vortex* pada kedua jenis ukuran diameter impeller namun dengan posisi berbeda. Dengan ditingkatkannya ukuran diameter impeler ternyata memberikan pengaruh terhadap kecenderungan letak *vortex* dan kecepatan di dalam tangki terutama kecepatan di daerah sekitar impeller. Pada diameter yang lebih kecil, letak *vortex* berada lebih dekat dengan impeller sedangkan voretx lebih mendekati dinding pada pola alir menggunakan diameter impeller yang lebih besar.



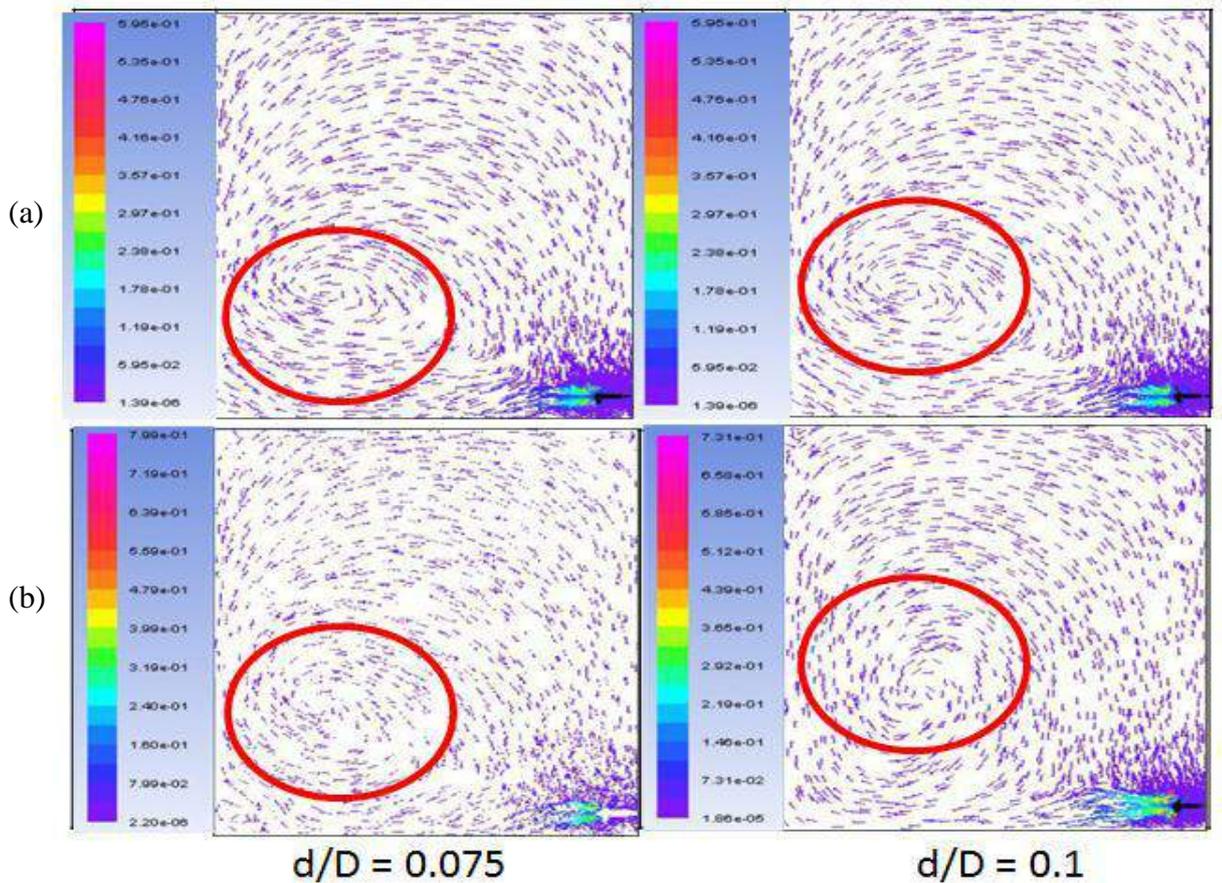
Gambar 4.22. Perbandingan pola alir 4 blade; (a) 300 rpm; (b) 400 rpm untuk $d/D=0.075$ dan $d/D=0.1$

Pada gambar 4.22 menunjukkan perbandingan pola alir dengan menggunakan kecepatan putar yang ditingkatkan yakni 300 rpm dan 400 rpm dan ukuran diameter impeller yang berbeda. Pada ukuran diameter yang lebih besar, kecepatan di sekitar area impeller meningkat dibandingkan kecepatan pada diameter impeller 3 cm. *Vortex* yang terbentuk kelihatan samar pada diameter lebih kecil. Pada kecepatan putar 300 rpm, dengan meningkatnya ukuran diameter impeller, letak *vortex* berubah menjadi lebih dekat dengan dinding. Untuk kecepatan putar 400 rpm, selain lebih dekat dengan dinding, letak *vortex* juga bergeser semakin ke atas hampir pada setengah tinggi untuk ukuran diameter yang ditingkatkan.



Gambar 4.23. Perbandingan pola alir 6 blade; (a) 100 rpm; (b) 200 rpm untuk $d/D=0.075$ dan $d/D=0.1$

Pada pola alir yang ditunjukkan gambar 4.23(a) menunjukkan *quick return flow* berlaku pada kecepatan rendah 100 rpm, tanpa adanya *vortex*. Tidak ditemukan daerah stagnan pada pola alir ini. Perubahan pola alir tidak signifikan, hanya pada kecepatan discharge impeller dan kecepatan dalam tangki secara umum. Sedangkan dengan kecepatan putar yang meningkat menjadi 200 rpm, *vortex* muncul pada kedua pola alir. Kecepatan discharge impeller serta kecepatan dalam tangki secara umum meningkat. Letak *vortex* berbeda pada kedua ukuran diameter impeller. Kecenderungan yang sama ditunjukkan bahwa dengan meningkatnya ukuran diameter impeller, *vortex* semakin mendekati dinding tangki. Posisi kedua *vortex* mendekati dasar tangki.



Gambar 4.24. Perbandingan pola alir 6 blade; (a) 300 rpm; (b) 400 rpm untuk $d/D=0.075$ dan $d/D=0.1$

Pada kecepatan putar tinggi yakni 300 rpm dan 400 rpm, kecepatan discharge dan kecepatan secara umum dalam tangki meningkat. Kedua pola alir menunjukkan perbedaan letak *vortex* semakin mendekati dinding dan semakin ke atas untuk ukuran diameter impeller yang lebih besar.

Kecenderungan pola alir yang ditunjukkan baik pada gambar 4.21 hingga gambar 4.24, dengan adanya peningkatan kecepatan dalam tangki dan juga pembentukan serta letak *vortex* yang berbeda dipengaruhi oleh adanya peningkatan kecepatan discharge impeller yang diakibatkan semakin meningkatnya kecepatan putar dan ukuran diameter impeller. Kecepatan discharge impeller dengan perubahan ukuran diameter impeller ditunjukkan tabel 4.1 di bawah ini yang diambil dari data hasil simulasi.

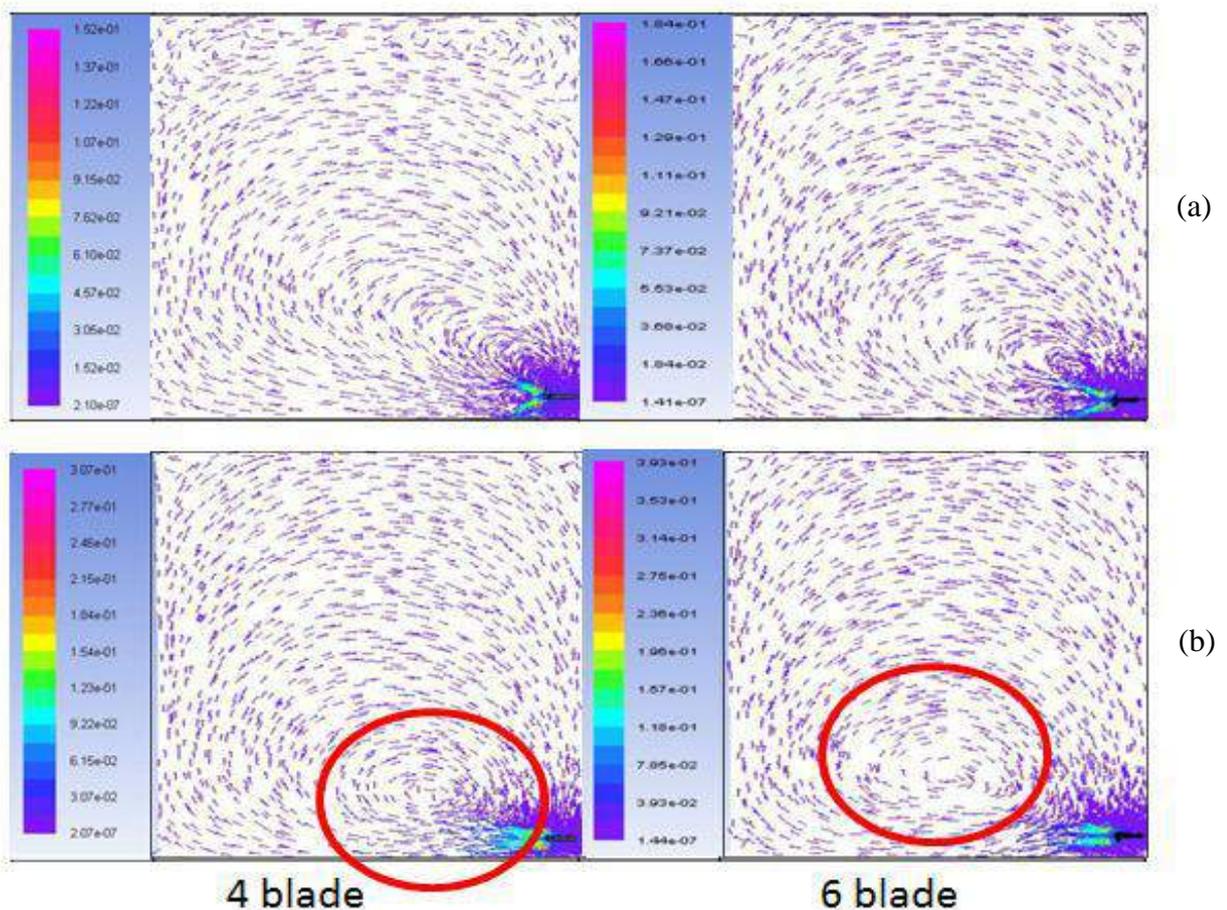
Tabel 4.1 Perbandingan kecepatan discharge impeller dengan perbedaan ukuran diameter impeller

Ukuran diameter impeller	Kecepatan putar impeller	Kecepatan discharge impeller
	rpm	m/s
4 blade; $d/D = 0,075$	100	0.082
	200	0.160
	300	0.273
	400	0.353
4 blade; $d/D = 0,1$	100	0.085
	200	0.172
	300	0.260
	400	0.349
6 blade; $d/D = 0,075$	100	0.062
	200	0.125
	300	0.190
	400	0.248
6 blade; $d/D = 0,1$	100	0.075
	200	0.155
	300	0.190
	400	0.309

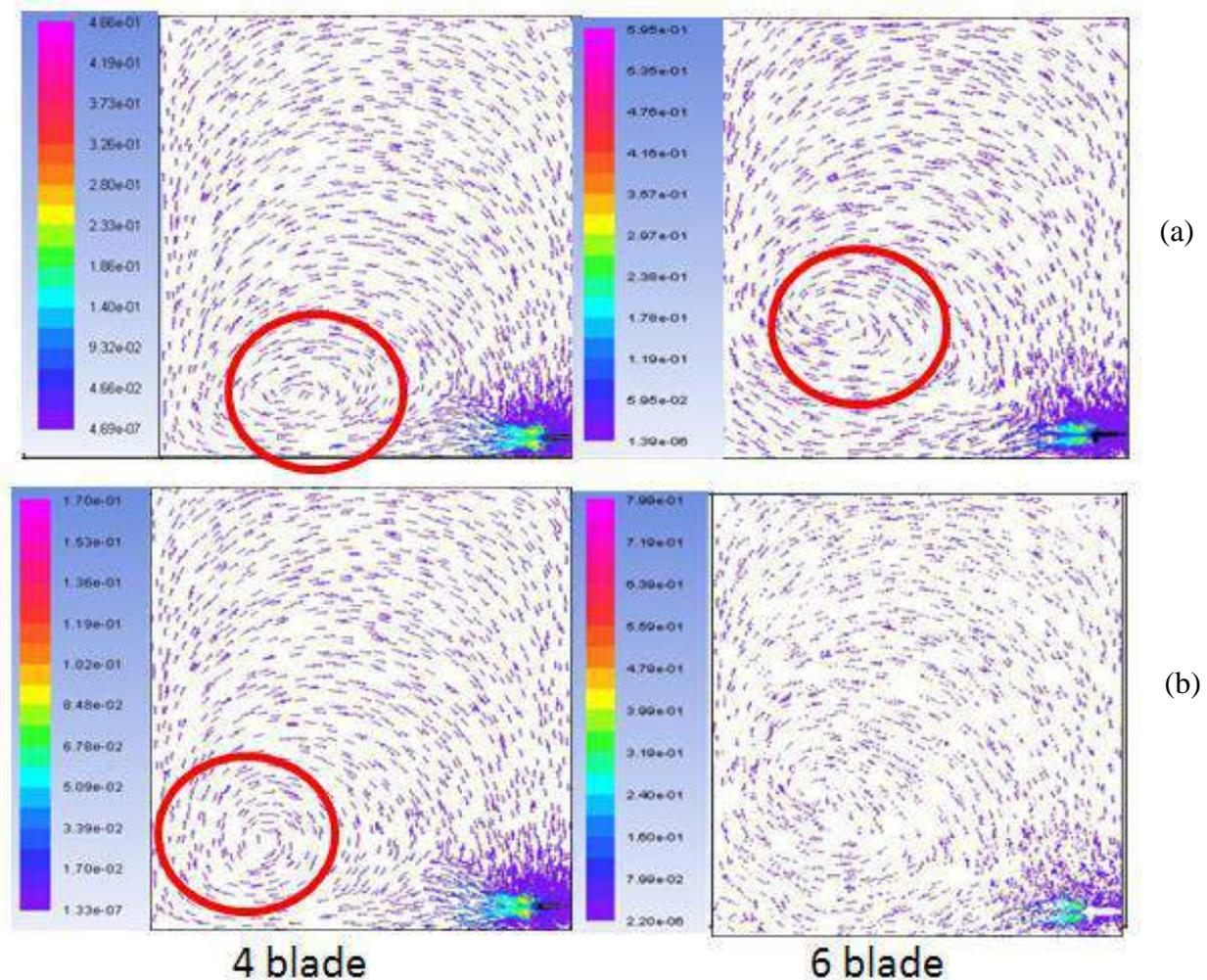
4.1.3 Pengaruh Jumlah Blade Impeller terhadap Pola Alir

Gambar 4.25 dan gambar 4.26 di bawah ini, menunjukkan perbandingan pola alir pada diameter impeller 3 cm pada kecepatan putar 100 rpm dan 200 rpm dengan membandingkan jumlah blade yakni 4 blade dan 6 blade. Pada kecepatan putar rendah 100 rpm, kedua pola alir menunjukkan pola *quick return flow* dengan sedikit perbedaan pada kecepatan dalam tangki. Adanya pola ini menunjukkan

bahwa pada kecepatan rendah, pola alir tidak mengalami perubahan. Peningkatan jumlah blade tidak memberikan dampak signifikan. Aliran dengan pola ini merupakan aliran yang keluar dari discharge impeller sebagian besar langsung kembali ke daerah dekat impeller sedangkan sebagian lain bersirkulasi. Pada bagian tangki tidak ditemukan daerah stagnan bahkan di bagian sudut-sudut tangki sekalipun pada plane vertikal yang terlihat. *Vortex* tidak terbentuk pada keduanya. Dengan peningkatan kecepatan menjadi 200 rpm, terlihat perbedaan jumlah blade 4 dan 6 blade. Kecepatan dalam tangki serta letak *vortex* terlihat berbeda, yang mana pada 6 blade, *vortex* lebih menjauh dari daerah impeller.



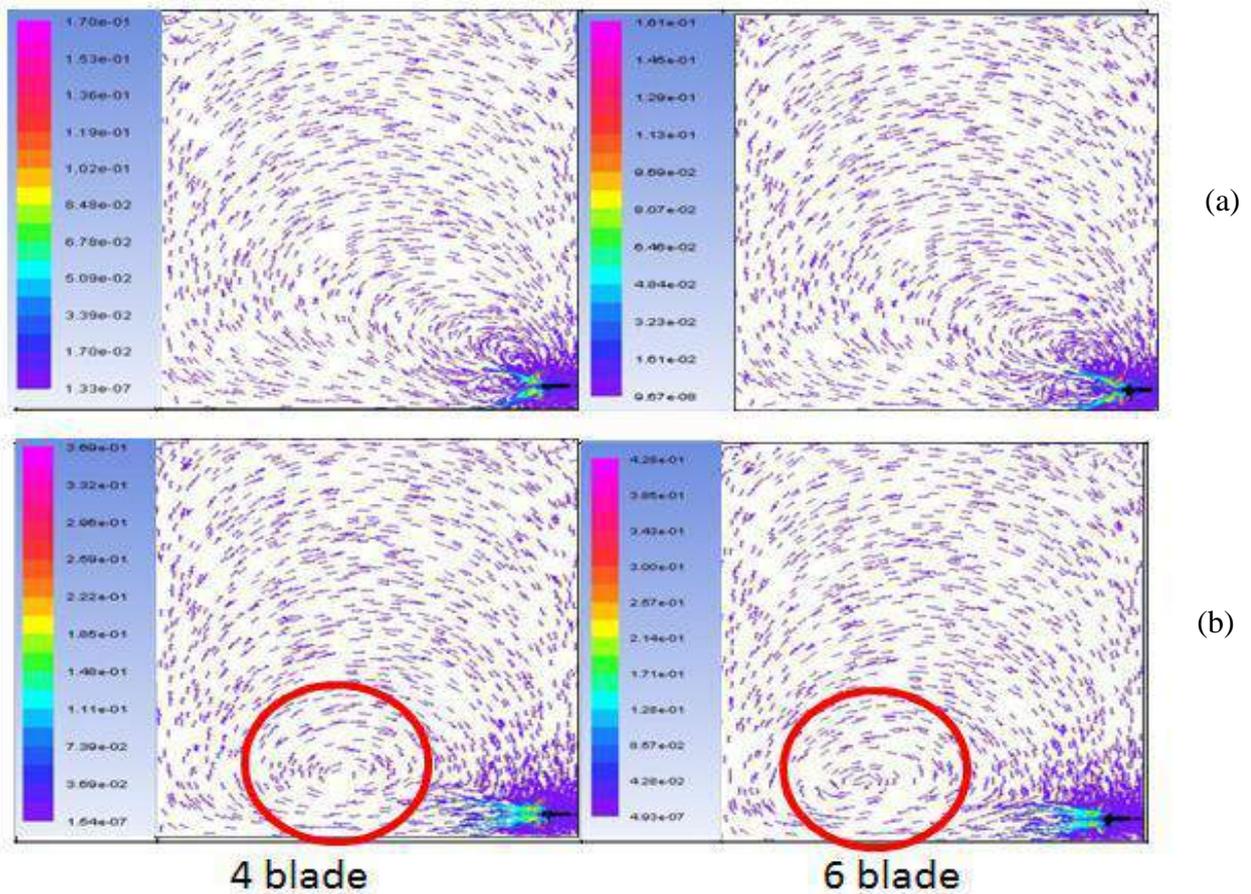
Gambar 4.25 Perbandingan pola alir pada $d/D = 0,075$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm



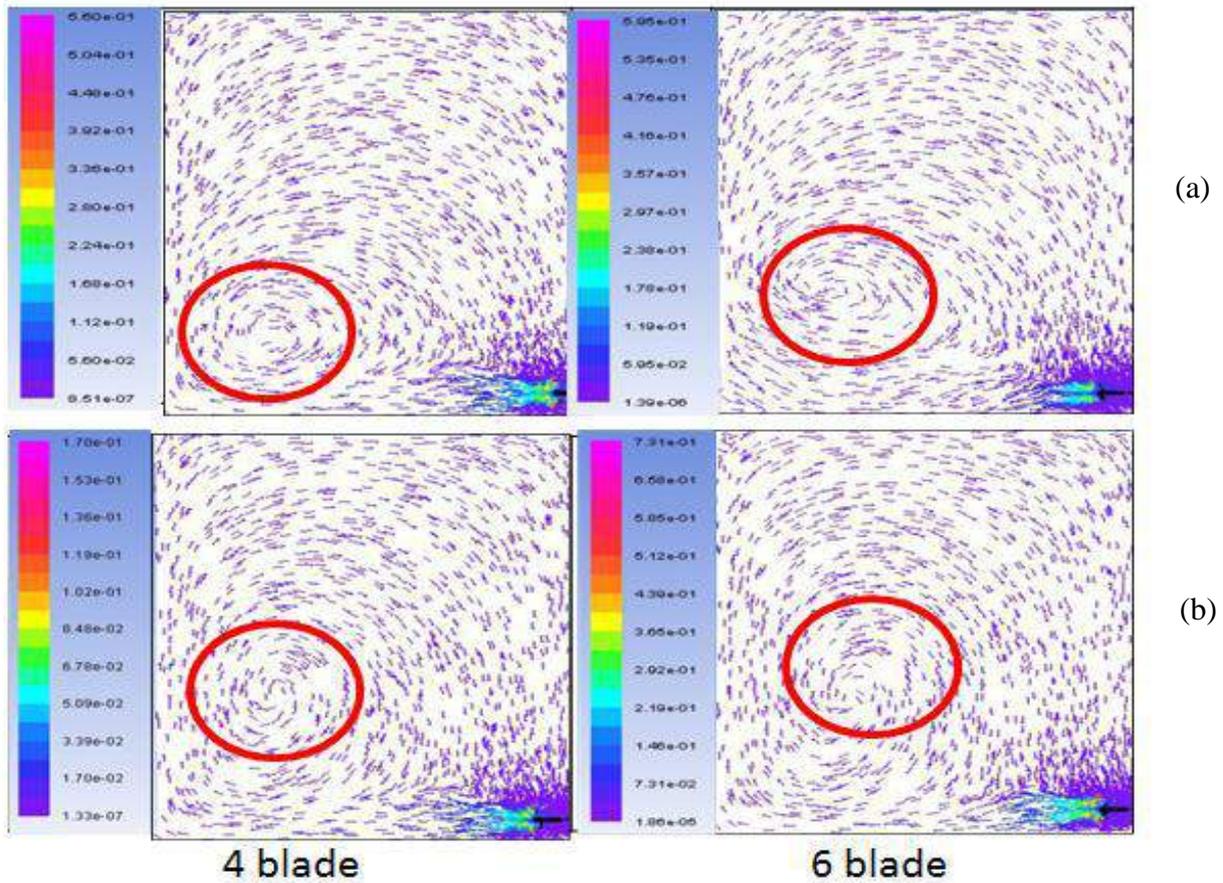
Gambar 4.26 Perbandingan pola alir pada $d/D = 0,075$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 300 rpm; (b) 400 rpm

Pada kecepatan tinggi 300 rpm dan 400 rpm mengalami peningkatan kecepatan aliran di dalam tangki juga peningkatan kecepatan discharge impeller. Pada kecepatan 400 rpm di gambar 4.26 menunjukkan keunikan bahwa tidak muncul *vortex* namun alirannya sangat turbulenta. Pada peningkatan kecepatan 200 rpm ke 300 rpm, posisi *vortex* semakin mendekati dinding.

Gambar 4.27 dan gambar 4.28 di bawah ini, menunjukkan perbandingan pola alir pada perbedaan 4 blade dan 6 blade dengan ukuran diameter impeller 4 cm pada kecepatan putar 100 rpm hingga 400 rpm. Untuk kecepatan 100 rpm *vortex* tidak terbentuk dan aliran tidak banyak mengalami perubahan. Kecenderungan kecepatan dalam tangki lebih tinggi pada blade yang lebih besar. Pola yang ditunjukkan juga sama yakni quick return flow seperti pada kecepatan 100 rpm dengan ukuran diameter impeller 3 cm.



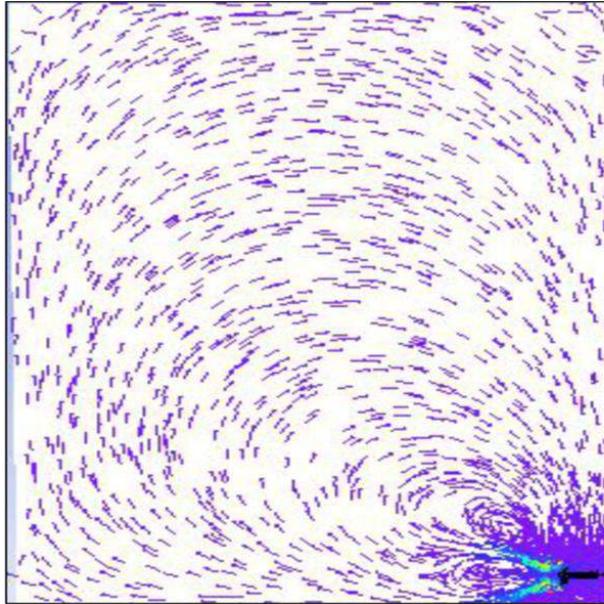
Gambar 4.27 Perbandingan pola alir pada $d/D = 0,1$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm



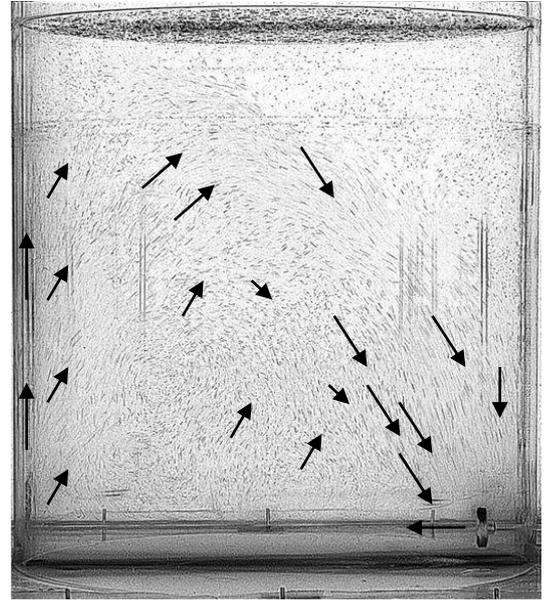
Gambar 4.28 Perbandingan pola alir pada $d/D = 0,1$; dengan 4 blade dan 6 blade dengan (a) 300 rpm; (b) 400 rpm

Pada peningkatan kecepatan putar 200 rpm hingga 400 rpm, kondisi yang disebabkan oleh jumlah blade lebih banyak, memberikan dorongan yang lebih kuat pada liquidida, kondisi dalam tangki menjadi lebih turbulent sehingga membentuk *vortex*. Posisi *vortex* pada jumlah blade lebih banyak, agak ke atas dan dekat dinding tangki, sedangkan pada jumlah blade yang lebih kecil, *vortex* berada di dekat bagian dasar tangki.

4.1.3 Validasi Pola Alir

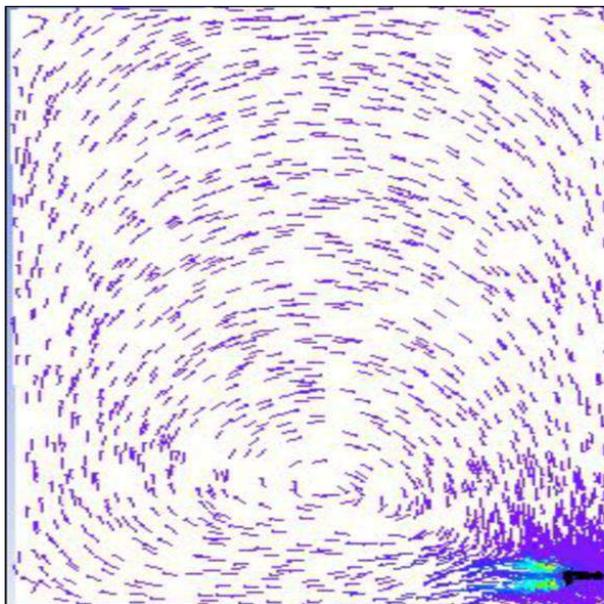


Hasil simulasi

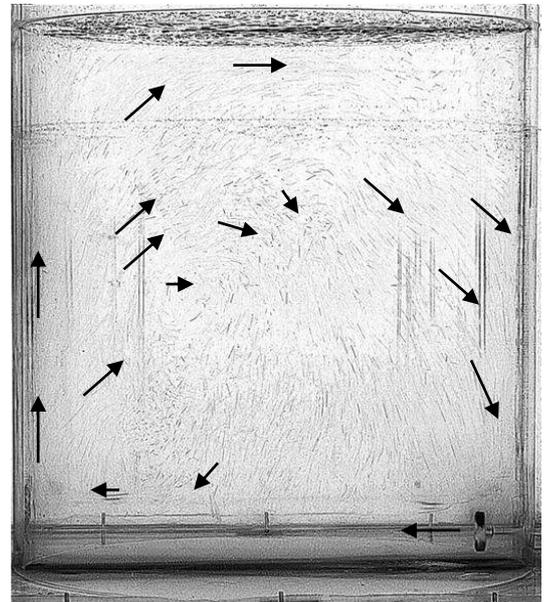


Hasil eksperimen

Gambar 4.29 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 100 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade

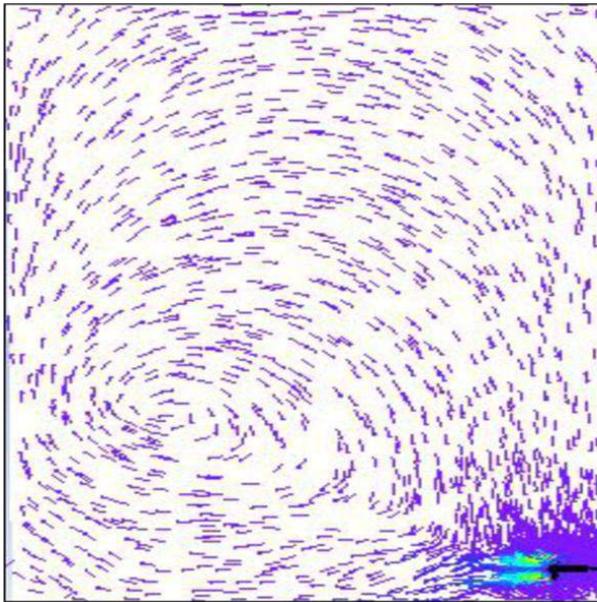


Hasil simulasi

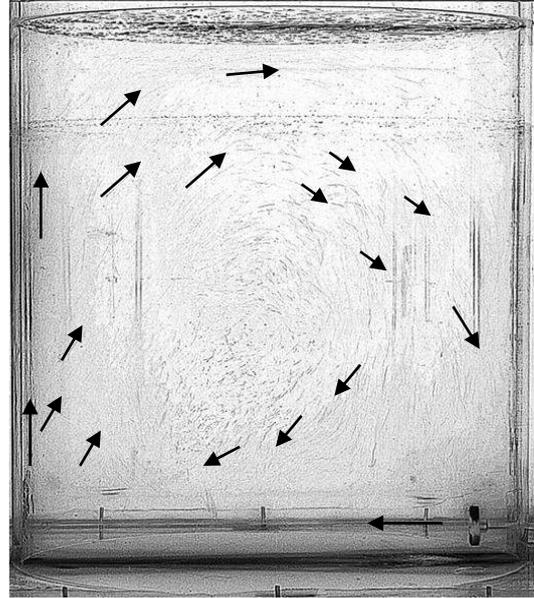


Hasil eksperimen

Gambar 4.30 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 200 rpm; $d/D = 0,075$; 6 blade

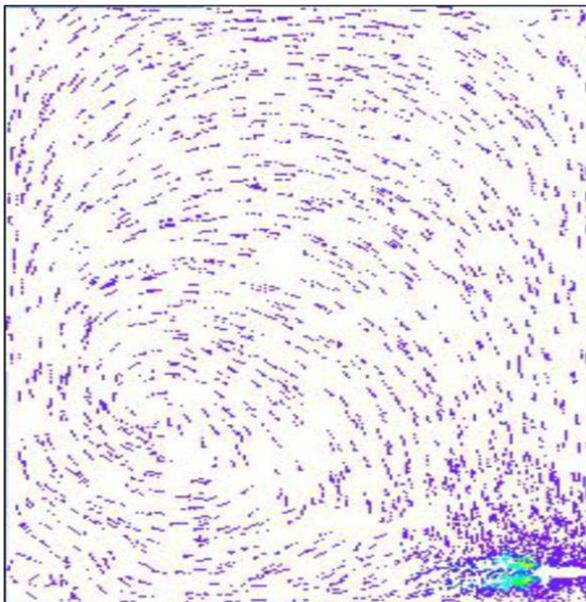


Hasil simulasi

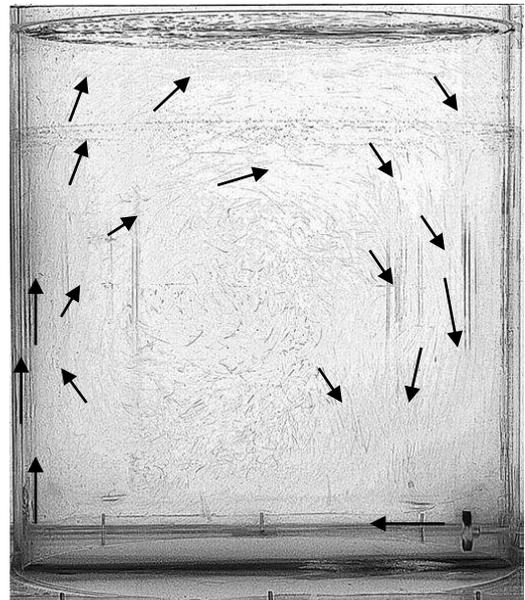


Hasil eksperimen

Gambar 4.31 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 300 rpm; $d/D = 0,075$;
6 blade

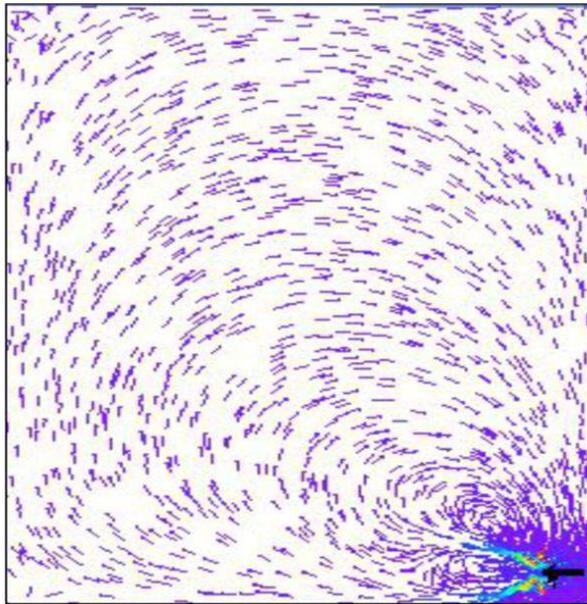


Hasil simulasi

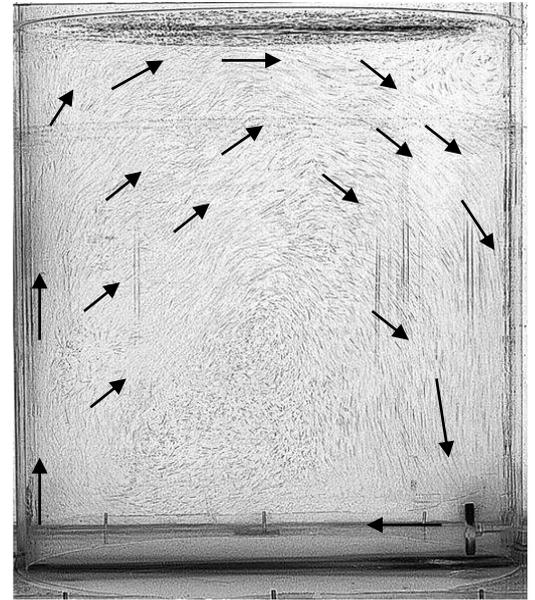


Hasil eksperimen

Gambar 4.32 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 400 rpm; $d/D = 0,075$;
6 blade

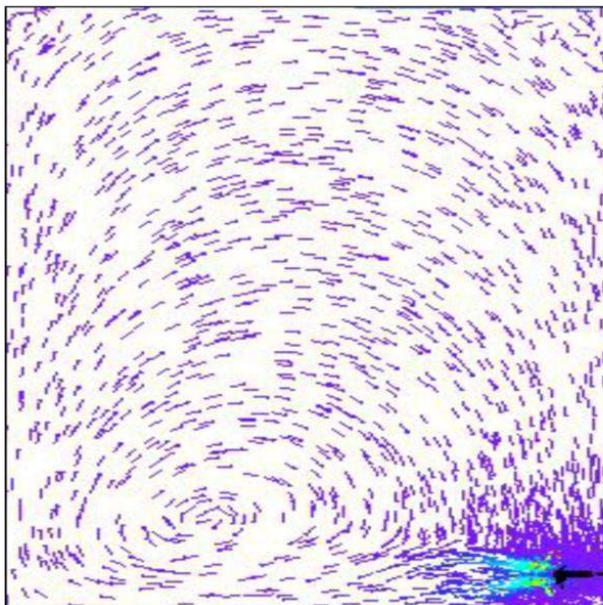


Hasil simulasi

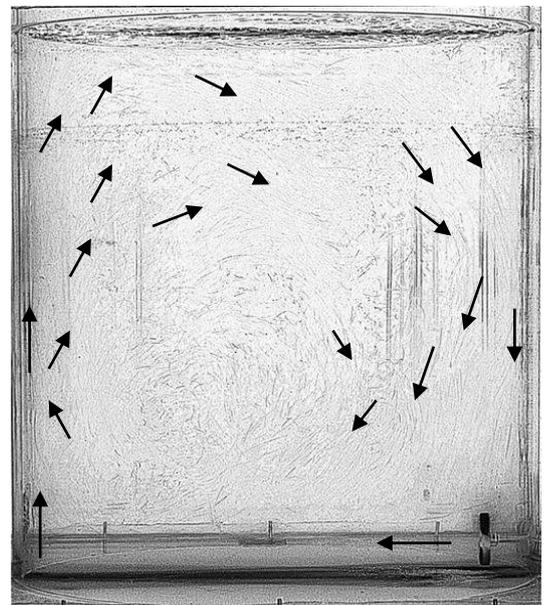


Hasil eksperimen

Gambar 4.33 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 100 rpm; $d/D = 0,1$;
6 blade

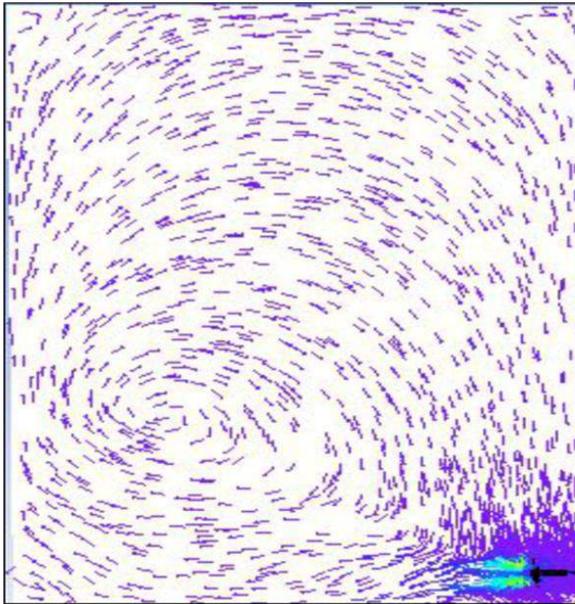


Hasil simulasi

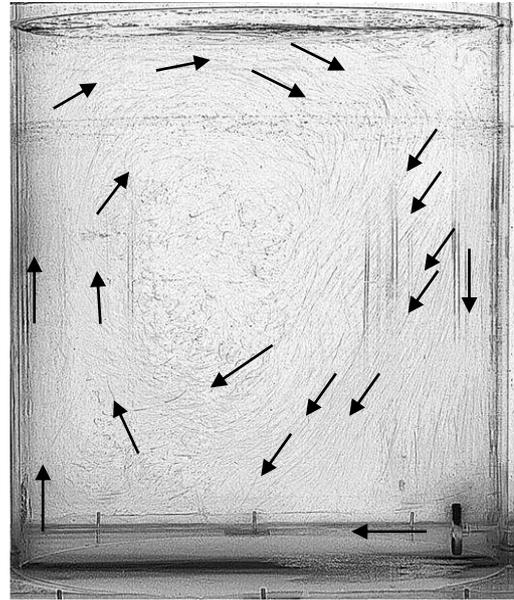


Hasil eksperimen

Gambar 4.34 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 200 rpm; $d/D = 0,1$;
6 blade

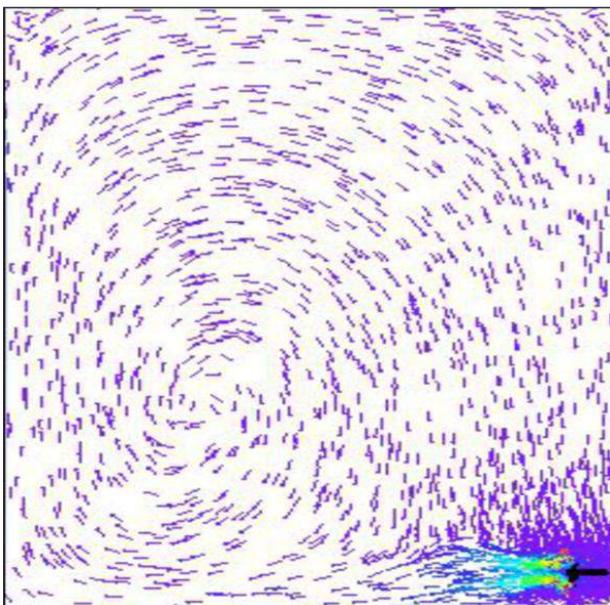


Hasil simulasi

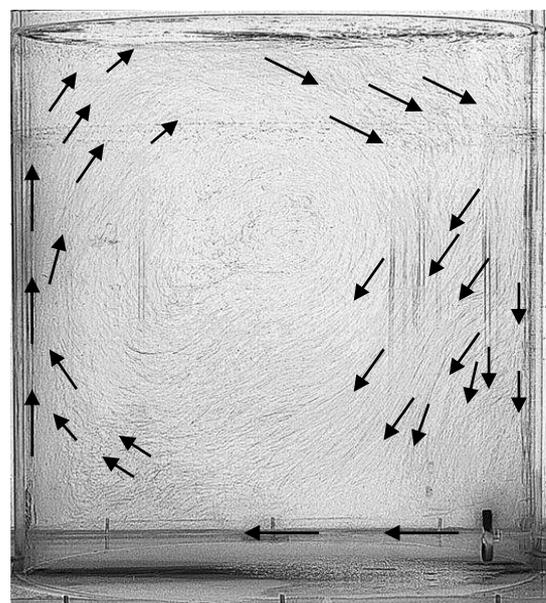


Hasil eksperimen

Gambar 4.35 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 300 rpm; $d/D = 0,1$;
6 blade



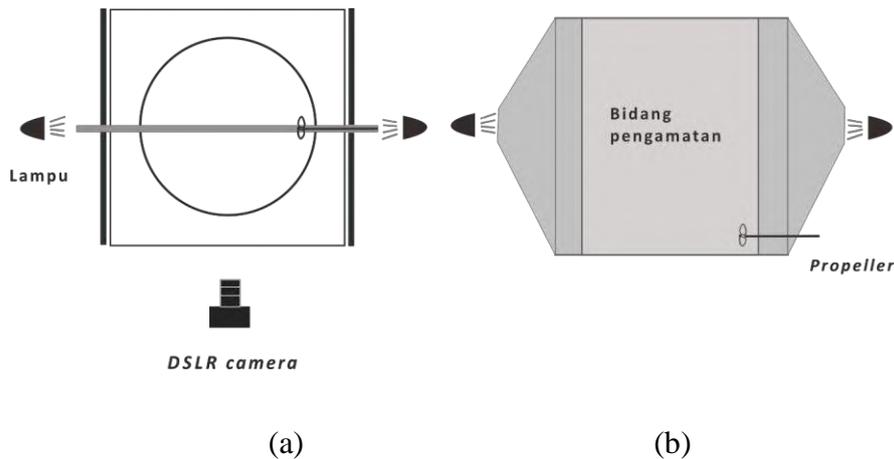
Hasil simulasi



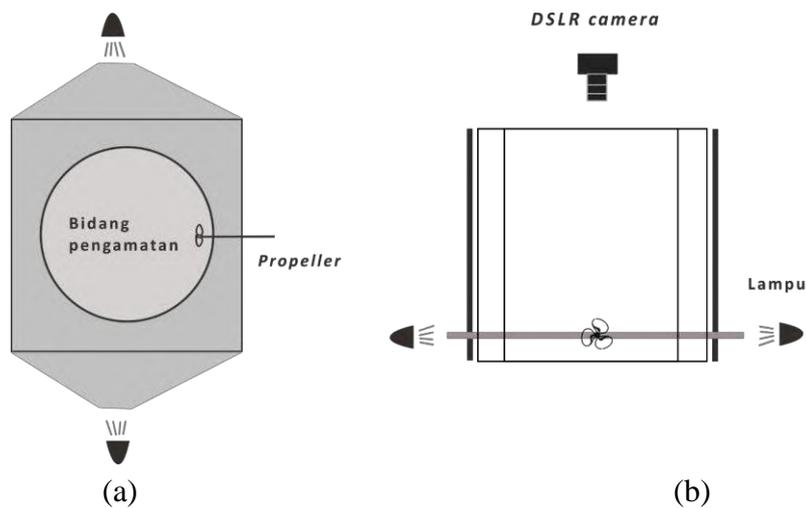
Hasil eksperimen

Gambar 4.36 Perbandingan pola alir pada kecepatan putar 400 rpm; $d/D = 0,1$;
6 blade

Gambar 4.29 hingga gambar 4.36 merupakan perbandingan pola alir antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Mahendra dan Affandy (2016). Variabel yang dibandingkan yakni 6 blade inclined fan turbine 45° dengan diameter impeller 3 cm dan 4 cm, kecepatan putar yakni 100 rpm hingga 400 rpm. Teknik visualisasi yang digunakan untuk mengambil gambar pola alir adalah bahwa untuk menghilangkan pengaruh perbedaan indeks bias air sebagai fluid kerja dan udara, tangki silinder dimasukkan dalam tangki kotak yang juga berisi air. Untuk mengamati fenomena aliran dalam tangki digunakan teknik visualisasi dengan menggunakan *digital single-lens reflex (DSLR) camera*. Partikel polyvinylchloride (PVC), warna putih, diameter rata-rata = 0.5 mm, densitas = $1200-1300 \text{ kg/m}^3$, dan seberat 100 gram digunakan sebagai penjejak (*tracer particles*) yang dapat mengikuti aliran (*flow follower*) supaya dapat mempermudah pengamatan pola aliran yang terjadi. Penambahan partikel penjejak ke dalam fluida dilakukan dengan teknik *pulse seeding* secara intermiten sampai akumulasi dari partikel yang terdeposisi di dasar tangki tidak menghalangi pengamatan gerak partikel mengikuti aliran. Secara alami aliran dalam tangki bersifat tiga dimensi, maka untuk penyederhanaan pengamatan dilakukan dari salah satu sisi untuk suatu bidang vertical dan dari atas untuk suatu bidang horizontal yang melewati poros impeller seperti ditunjukkan pada gambar 4.37 dan gambar 4.38. Untuk itu diperlukan system pencahayaan berupa bidang cahaya yang dilewatkan celah cahaya (*slit*) selebar 1 cm untuk membentuk bidang cahaya vertical dan horizontal. Sumber cahaya berasal dari dua unit lampu halogen yang diletakkan berlawanan pada kedua sisi samping baik untuk bidang cahaya vertical maupun horizontal.



Gambar 4.37 Sistem Pencahayaan untuk Bidang Cahaya Vertikal,
 (a) Tampak Atas; dan (b) Tampak Samping



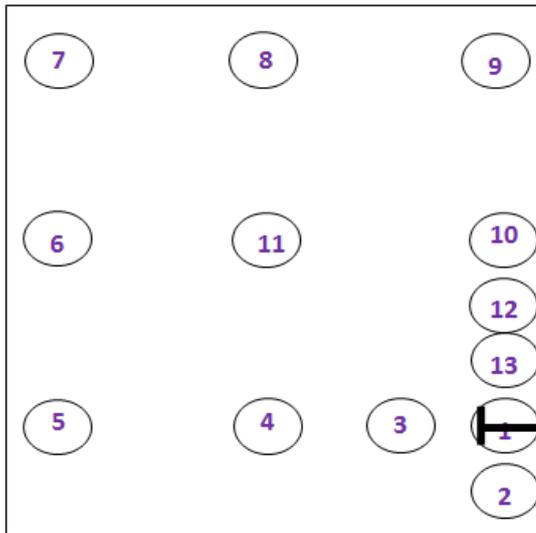
Gambar 4.38 Sistem Pencahayaan untuk Bidang Cahaya Horizontal
 (a) Tampak Atas; dan (b) Tampak Samping

Dengan melakukan pengamatan terhadap hasil simulasi dan eksperimen, pola alir memiliki kecenderungan yang sama. Secara umum pola alir membentuk *one loop circulation*, yang mana aliran keluaran discharge impeller bergerak menuju dinding tangki, kemudian sebagian bersirkulasi naik ke atas, sebagian yang lain ada yang kembali ke daerah impeller. Aliran yang tadi naik ke atas kemudian bergerak menyamping ke arah dinding tangki lain kemudian berbelok ke bawah menuju daerah impeller. Meskipun demikian, ada beberapa pola aliran yang menunjukkan ketidakseragaman. Sebagian pola alir yang lain ada yang segera

berbelok setelah menabrak dinding dan menuju bagian tengah tangki, lalu tidak kembali ke daerah impeller tapi langsung bersirkulasi kembali, seperti pada gambar 4.32 dan 4.36. Secara umum, pola alir yang ditunjukkan hasil simulasi dan eksperimen adalah sama. Hanya saja ada beberapa bagian yang menunjukkan sedikit perbedaan, diantaranya pada gambar 4.30 untuk hasil simulasi dan eksperimen memiliki kesamaan aliran yang cepat kembali ke daerah impeller atau disebut dengan *quick return flow* tetapi pada hasil eksperimen ditemukan daerah stagnan di sudut tangki bagian atas, sedangkan pada hasil simulasi tidak ditemukan daerah stagnan. Selain itu pada variabel ukuran diameter 4 cm, pada kecepatan 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm, letak *vortex* agak berbeda. Hasil eksperimen menunjukkan letak *vortex* lebih ke atas dan ke tengah tangki. Hasil simulasi menunjukkan *vortex* lebih mendekati dinding tangki.

4.2 Distribusi kecepatan dalam tangki

Untuk mengetahui distribusi kecepatan dalam tangki maka digunakan sampling 13 titik secara random yang tersebar dalam tangki seperti gambar di bawah ini. Kecepatan dalam tangki mempengaruhi pola alir yang terjadi. Kecepatan ini sesuai dengan fenomena cepat atau lambatnya aliran yang terlihat pada gambar pola alir di subbab sebelumnya. Yang mana terlihat bahwa pada daerah dekat impeller, kecepatan aliran lebih tinggi daripada di daerah lainnya dalam tangki. Kecepatan mengalami penurunan ketika mulai menjauhi daerah impeller, yang kemudian menuju dinding, naik dan bersirkulasi menuju daerah impeller kembali. Kecepatan mengalami peningkatan lagi saat mendekati impeller.



Gambar 4.39 Distribusi titik dalam tangki

Selanjutnya disajikan data kecepatan tiap titik dalam tabel-tabel di bawah ini. Pada table 4.2 hingga 4.5 disajikan data kecepatan dalam tangki untuk 4 blade 3 cm dari 100 rpm hingga 400 rpm. Kecepatan discharge impeller yang ditunjukkan oleh titik 1 mengalami peningkatan seiring meingkatnya kecepatan putar rpm. Kecepatan kemudian mengalami penurunan ketika menjauh dari daerah impeller dan menuju dinding yang kemudian bersirkulasi dalam tangki. Daerah bagian tengah tangki menunjukkan kecepatan yang rendah. Kecepatan ke arah dinding lebih besar daripada kecepatan ke atas atau pada bagian tengah tangki Karena secara crosssectional area lebih kecil yang menuju dinding sehingga aliran lebih cepat ke arah dinding daripada ke bagian tengah tangki. Selanjutnya kecepatan mengalami peningkatan kembali ketika mendekati area impeller. Kecenderungan yang sama, secara umum, juga ditunjukkan oleh data-data kecepatan pada variabel yang lain.

Tabel 4.2 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 100 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	8180.85e-05
2	964.51e-05
3	145.23e-05
4	28.23e-05
5	18.50e-05
6	8.60e-05
7	1.06e-05
8	0.37e-05
9	0.85e-05
10	8.60e-05
11	3.77e-05
12	79.80e-05
13	206.28e-05

Tabel 4.4 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 300 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	27322.63e-05
2	1609.26e-05
3	8899.78e-05
4	2464.62e-05
5	1109.35e-05
6	158.58e-05
7	4.29e-05
8	8.63e-05
9	2.93e-05
10	126.35e-05
11	132.40e-05
12	581.71e-05
13	989.29e-05

Tabel 4.3 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 200 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	15952.80e-05
2	1110.25e-05
3	6142.68e-05
4	808.84e-05
5	56.39e-05
6	38.50e-05
7	2.55e-05
8	3.16e-05
9	1.97e-05
10	55.52e-05
11	40.95e-05
12	39.25e-05
13	69.04e-05

Tabel 4.5 Distribusi kecepatan pada 4 blade 3 cm 400 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	35315.85e-05
2	2118.24e-05
3	11604.56e-05
4	2890.35e-05
5	1667.95e-05
6	936.72e-05
7	15.76e-05
8	34.23e-05
9	11.97e-05
10	2661.49e-05
11	356.69e-05
12	842.37e-05
13	1354.60e-05

Tabel 4.6 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 100 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	8515.03e-05
2	791.70e-05
3	4575.63e-05
4	53.02e-05
5	16.45e-05
6	8.26e-05
7	1.02e-05
8	0.56e-05
9	0.54590278e-05
10	11.26e-05
11	5.72e-05
12	139.61e-05
13	359.10e-05

Tabel 4.8 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 300 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	25995.489e-05
2	1869.54e-05
3	11075.10e-05
4	3852.25e-05
5	1731.06e-05
6	486.09e-05
7	8.44e-05
8	19.88e-05
9	5.74e-05
10	195.31e-05
11	251.17e-05
12	705.38e-05
13	1182.33e-05

Tabel 4.7 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 200 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	17196.42e-05
2	1262.29e-05
3	7035.10e-05
4	2364.79e-05
5	281.75e-05
6	87.75e-05
7	3.10e-05
8	6.20e-05
9	2.07e-05
10	91.82e-05
11	86.57e-05
12	474.26e-05
13	799.36e-05

Tabel 4.9 Distribusi kecepatan pada 4 blade 4 cm 400 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	34873.99e-05
2	2470.31e-05
3	14975.71e-05
4	5473.28e-05
5	2444.17e-05
6	2027.08e-05
7	142.48e-05
8	185.27e-05
9	57.07e-05
10	557.33e-05
11	690.24e-05
12	1072.82e-05
13	1649.94e-05

Tabel 4.10 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 100 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	6156.00e-05
2	714.13e-05
3	579.33e-05
4	89.61e-05
5	17.09e-05
6	10.83e-05
7	1.04e-05
8	0.74e-05
9	0.67e-05
10	16.85e-05
11	9.62e-05
12	193.72e-05
13	415.68e-05

Tabel 4.12 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 300 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	18990.18e-05
2	1938.37e-05
3	7993.35e-05
4	1783.72e-05
5	619.18e-05
6	556.48e-05
7	9.03e-05
8	22.76e-05
9	5.2365409e-05
10	243.83e-05
11	269.00e-05
12	786.74e-05
13	1241.84e-05

Tabel 4.11 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 200 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	12537.74e-05
2	1320.85e-05
3	4785.91e-05
4	1366.37e-05
5	163.75e-05
6	91.11e-05
7	2.78e-05
8	5.81e-05
9	2.24e-05
10	101.85e-05
11	91.10e-05
12	518.68e-05
13	834.76e-05

Tabel 4.13 Distribusi kecepatan pada 6 blade 3 cm 400 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	247572.90e-05
2	2746.33e-05
3	9948.08e-05
4	1739.41e-05
5	1172.22e-05
6	756.34e-05
7	27.41e-05
8	55.08e-05
9	14.10e-05
10	402.88e-05
11	471.72e-05
12	1098.14e-05
13	1702.75e-05

Tabel 4.14 Distribusi kecepatan pada
6 blade 4 cm 100 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	7466.03e-05
2	8621.95e-05
3	690.65e-05
4	103.13e-05
5	17.86e-05
6	10.81e-05
7	1.16e-05
8	0.87e-05
9	0.69e-05
10	17.72e-05
11	10.20e-05
12	210.54e-05
13	468.35e-05

Tabel 4.16 Distribusi kecepatan pada
6 blade 4 cm 300 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	18990.18e-05
2	1938.37e-05
3	7993.35e-05
4	1783.72e-05
5	619.18e-05
6	556.48e-05
7	9.03e-05
8	22.76e-05
9	5.24e-05
10	243.83e-05
11	269.00e-05
12	786.74e-05
13	1241.84e-05

Tabel 4.15 Distribusi kecepatan pada
6 blade 4 cm 200 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	15541.54e-05
2	1527.94e-05
3	6937.73e-05
4	1986.60e-05
5	590.20e-05
6	137.00e-05
7	3.08e-05
8	7.48e-05
9	2.15e-05
10	111.30e-05
11	121.45e-05
12	508.29e-05
13	862.96e-05

Tabel 4.17 Distribusi kecepatan pada
6 blade 4 cm 400 rpm

Kecepatan pada berbagai titik (m/s)	
1	30889.68e-05
2	2748.56e-05
3	17687.75e-05
4	4853.21e-05
5	2027.90e-05
6	1688.87e-05
7	295.93e-05
8	367.04e-05
9	127.33e-05
10	815.07e-05
11	686.56e-05
12	1256.29e-05
13	1808.89e-05

4.3 Pumping Capacity

Pumping capacity merupakan sejumlah liquid yang dikeluarkan oleh impeller berupa volume silinder terbatas karena rotasi blade impeller tiap satuan waktu sehingga dapat diketahui pengaruh kecepatan putar dan ukuran diameter impeller terhadap energi yang disalurkan ke fluida di dalam tangki.

Pumping capacity didefinisikan menggunakan pumping number, N_Q , berdasarkan korelasi:

$$N_Q = \frac{Q}{ND^3}$$

Dengan Q = *circulation flow* yang meninggalkan blade (m^3/s)

N_Q = *impeller flowrate number*

N = *frequency of impeller revolution (rps)*

D = *impeller diameter (m)*

Dengan nilai N_Q untuk turbine 4 blade = 0.87 dan turbine 6 blade = 1.3

Selain itu, untuk mengetahui nilai *pumping capacity* juga bisa dilakukan dengan menghitung *cross-sectional area* yang dilalui oleh fluida dikalikan kecepatan rata-rata dari discharge impeller.

$$Q = A \times v_{\text{discharge, average}}$$

Dengan Q = *circulation flow* (m^3/s)

A = luas daerah melingkar dari impeller berdiameter
3 cm dan 4 cm

$v_{\text{discharge, average}}$ = kecepatan rata-rata discharge impeller dari data simulasi

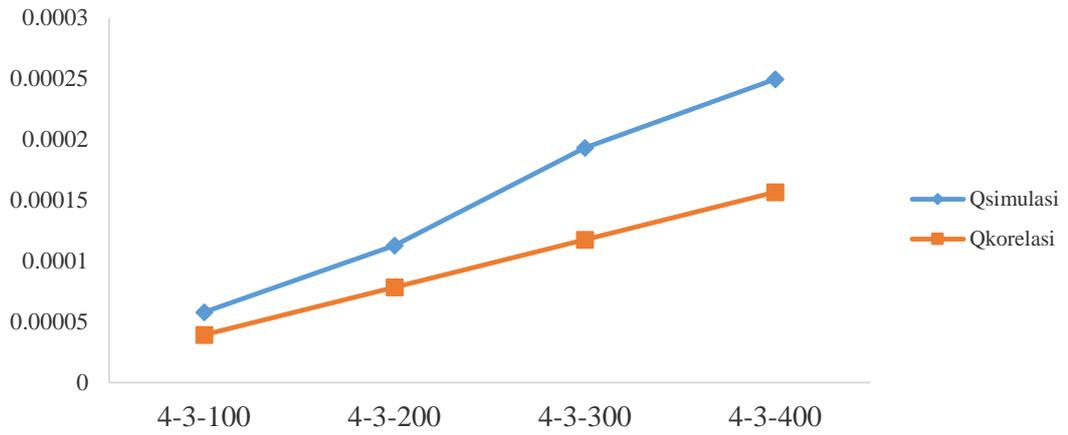
Berikut disajikan data masing-masing kecepatan rata-rata discharge impeller pada berbagai variabel.

Tabel 4.18 Kecepatan rata-rata discharge impeller

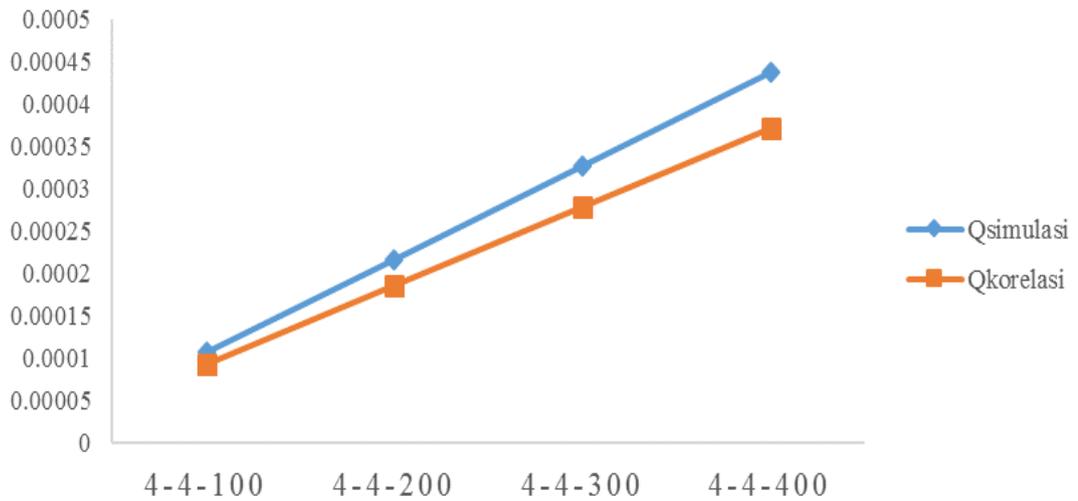
Keterangan	Kecepatan (m/s)
4-3-100	0.082
4-3-200	0.160
4-3-300	0.273
4-3-400	0.353
4-4-100	0.085
4-4-200	0.172
4-4-300	0.260
4-4-400	0.349
6-3-100	0.062
6-3-200	0.125
6-3-300	0.190
6-3-400	0.248
6-4-100	0.075
6-4-200	0.155
6-4-300	0.190
6-4-400	0.309

Data pada table 4.18 merupakan kecepatan rata-rata discharge impeller yang didapatkan dari hasil simulasi dengan membuat 13 titik sampling di dalam tangki. Untuk kecepatan discharge merupakan kecepatan di titik 1 pada pengambilan sampling.

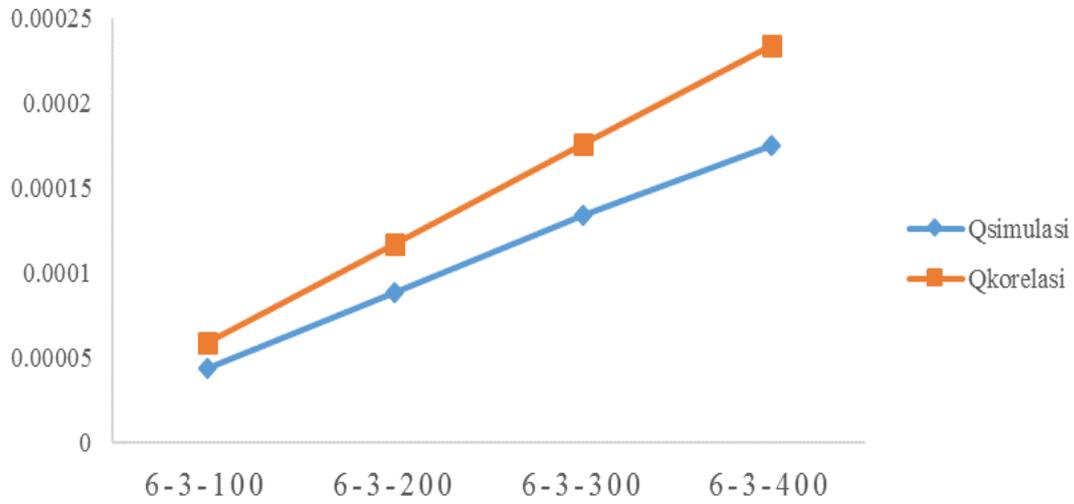
Selanjutnya melakukan perhitungan dengan kedua cara di atas dan kemudian membandingkan hasilnya seperti di bawah ini.



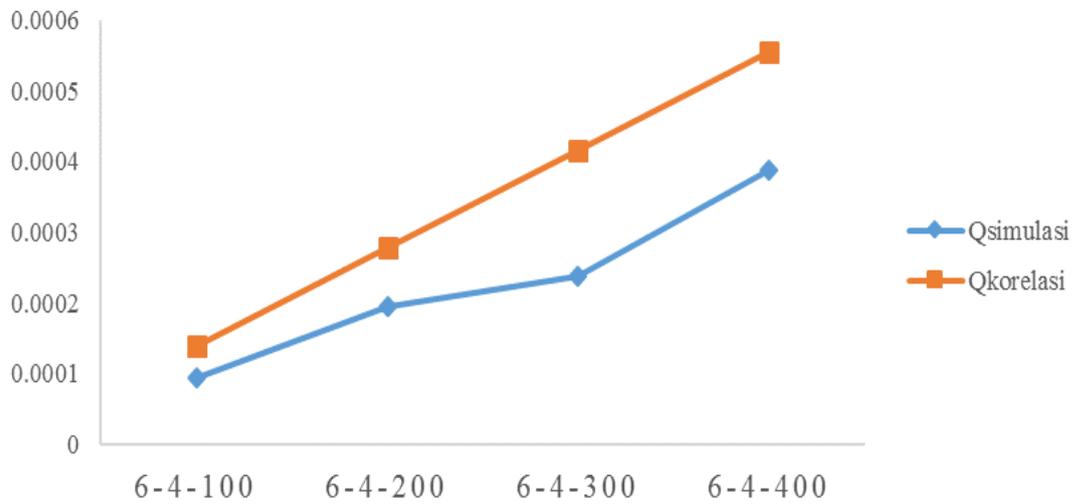
Gambar 4.40 Perbandingan nilai *pumping capacity* menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 4 blade; $d/D = 0,075$; 100 rpm-400 rpm



Gambar 4.41 Perbandingan nilai *pumping capacity* menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 4 blade; $d/D = 0,1$; 100 rpm-400 rpm



Gambar 4.42 Perbandingan nilai *pumping capacity* menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 6 blade; $d/D = 0,075$; 100 rpm-400 rpm



Gambar 4.43 Perbandingan nilai *pumping capacity* menggunakan korelasi dan data simulasi untuk 6 blade; $d/D = 0,1$; 100 rpm-400 rpm

Dari gambar 4.41 hingga gambar 4.44 di atas dapat diamati bahwa terlihat perbedaan nilai *pumping capacity* antara perhitungan menggunakan korelasi dengan perhitungan menggunakan data simulasi. Pada variabel 4 blade baik untuk ukuran diameter impeller 3 cm dan 4 cm, Q_{simulasi} lebih tinggi nilainya daripada Q_{korelasi} . Sedangkan pada variabel 6 blade untuk ukuran diameter impeller 3 cm dan 4 cm, nilai Q_{korelasi} lebih tinggi. Salah satu penyebabnya ialah bahwa pada perhitungan Q_{korelasi} , nilai *pumping number*, N_Q , berpengaruh cukup signifikan. Nilai N_Q pada 6 blade cukup besar dibandingkan N_Q pada 4 blade. Sehingga menghasilkan nilai Q yang besar.

Selanjutnya, secara umum, kecenderungan yang sama ditunjukkan masing-masing variabel. Dengan meningkatnya kecepatan putar impeller dan semakin besarnya ukuran diameter impeller maka *pumping capacity* meningkat.

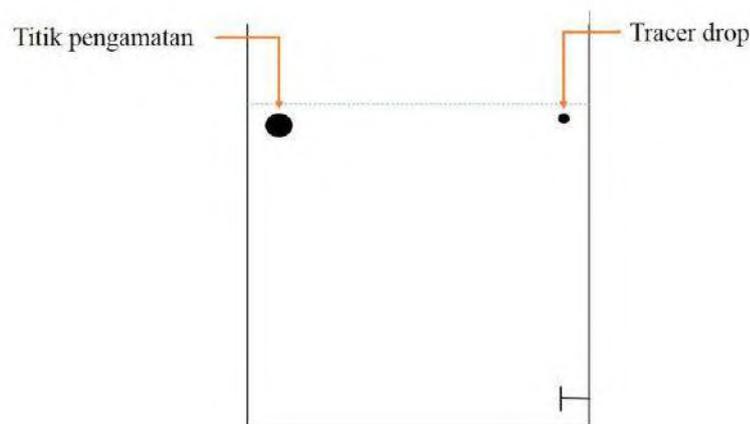
Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa semakin banyak energi yang dialirkan kepada fluida dalam tangki melalui putaran impeller maka akan semakin banyak jumlah fluida yang melewati impeller setiap detiknya. Hal ini juga menunjukkan bahwa kapasitas perpompaan sangat tergantung pada geometri impeller dan juga kecepatan putar impeller.

4.4 *Mixing time*

Mixing time merupakan salah satu parameter yang biasanya digunakan dalam mengevaluasi performa dan hidrodinamika dalam tangki berpengaduk. Secara umum, *mixing time* didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat homogenitas tertentu dalam tangki berpengaduk. Homogenitas sistem bergantung pada propertis fluida sebagaimana karakteristik impeller yang diterapkan.

Penelitian untuk memprediksi *mixing time* ini dilakukan menggunakan simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan menggunakan air sebagai fluida dan tinggi liquid sebanding dengan diameter tangki. Permukaan liquid dianggap datar. Jenis pengaduk yang digunakan yakni inclined fan turbine 45° 6 blade dengan diameter impeller 4 cm. Menggunakan kecepatan putar impeller 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm.

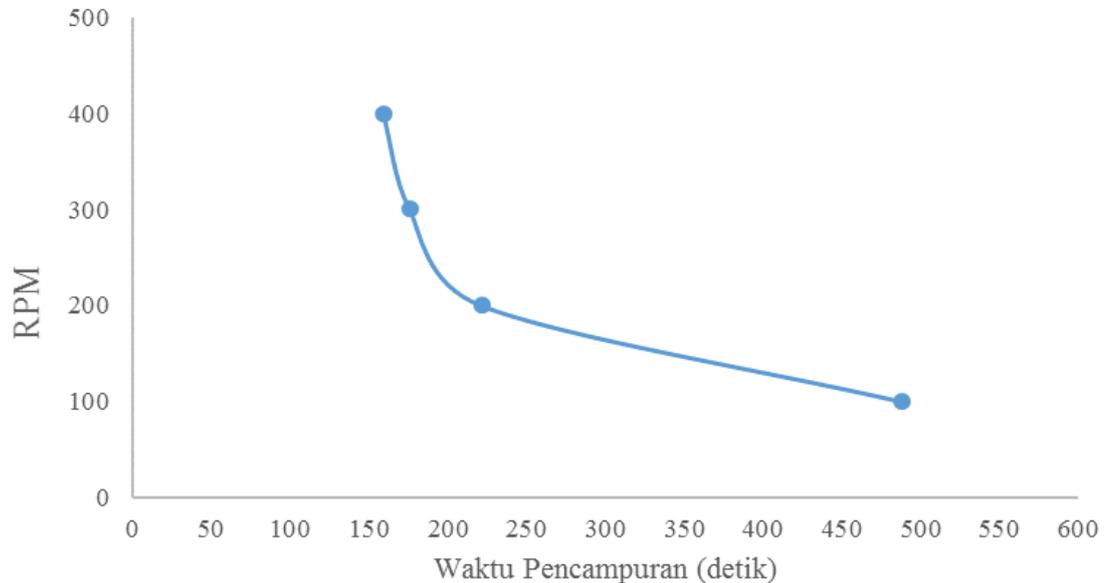
Menggunakan *tracer* yang dinamakan *water-liquid3* yang memiliki properties mirip dengan *water* yang digunakan sebagai fluida. Metode simulasi yang digunakan untuk memprediksi *mixing time* yakni dengan cara melakukan simulasi secara *steady state* dengan menggunakan *water* sebagai fluida dengan variable kecepatan putar yang telah ditentukan. Selanjutnya melakukan simulasi secara transient dengan memasukkan *tracer water-liquid3* dengan konsentrasi $1.16e-16$. Injeksi *tracer* diasumsikan tidak mempengaruhi aliran. Aliran diasumsikan fully turbulent.



Gambar 4.44 Posisi *tracer* dan titik pengamatan perubahan konsentrasi dalam tangki

Mixing time dievaluasi dari konsentrasi hasil simulasi secara transient yang mana sebelumnya diinjeksikan sejumlah kecil *tracer* pada bagian atas tangki dan mengamati hasil perubahan konsentrasi terhadap waktu pada posisi tertentu di dalam tangki. Hasil dari simulasi pengadukan ini diamati dengan menentukan titik pengamatan yang dibuat pada sisi berlawanan dari *tracer drop*. Penempatan titik pengamatan sama untuk setiap variabel yang dilakukan. Saat awal pemberian *tracer drop*, konsentrasi *water-liquid3* dalam tangki sangat berbeda kemudian ketika *tracer* mulai bergerak mengikuti aliran liquid di dalam tangki, konsentrasi perlahan berubah, hingga mencapai kondisi akhir dimana pada titik pengamatan membaca konsentrasi yang sama, pada saat liquid mulai homogen pada setiap titik dalam tangki. Penentuan *mixing time* yakni waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi homogen dalam tangki pada saat konsentrasi *tracer* sama

dengan konsentrasi yang dimasukkan di awal. Berikut merupakan data mixing time pada variabel yang ditentukan.



Gambar 4.45 Waktu pencampuran pada 6 blade; $d/D = 0,1$; kecepatan putar 100 rpm-400 rpm

Dari gambar di atas dapat diamati bahwa semakin besar kecepatan putar impeller maka semakin cepat *mixing time* tercapai. Jika dicermati maka grafik membentuk tendensi yang menunjukkan seperti ada dua region, yakni region pertama pada kecepatan lebih rendah (100 rpm dan 200 rpm) dan pada region kedua dengan kecepatan tinggi (300 rpm dan 400 rpm). Dapat dilihat bahwa *mixing time* semakin cepat tercapai pada region kedua yang mana kecepatannya ditingkatkan. Hal ini disebabkan pada kecepatan rendah, fluida cenderung untuk mengalir tanpa adanya gerakan bercabang dan layer fluida yang berdekatan akan cenderung untuk bergeser satu dengan yang lainnya. Aliran menyilang tegak lurus terhadap arah aliran tidak terjadi, begitu juga pusaran atau punputaran fluida. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi, arah aliran yang bercabang akan lebih banyak terbentuk, begitu pula dengan pusaran fluida sehingga kontak antar molekul akan lebih banyak terjadi, inilah yang menyebabkan *mixing time* lebih rendah pada kecepatan yang lebih tinggi (Geankoplis, 2003).

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil ialah sebagai berikut.

1. Rate aliran *discharge stream* meningkat dengan bertambahnya kecepatan putar impeller dan meningkatnya ukuran diameter impeller.
2. *Mixing time* semakin cepat tercapai dengan semakin tinggi kecepatan putar.

5.2 Saran

Atas hasil penelitian yang dicapai, disarankan untuk peneliti selanjutnya agar mencoba melakukan simulasi dengan sistem *multiphase* dan analisa makroinstabilitas secara kuantitatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Assirelli, M., Bujalski, W., Eaglesham, A., Nienow, A.W., (2008), "Macro – and micromixing studies in an unbaffled vessel agitated by a Rushton Turbine", *Chemical Engineering Science*, vol.63, pp. 35-46.
- Chhbra, R.P., Richardson, J.F., (2008), "Non-Newtonian Flow and applied Rheology : Engineering Applications", Butterworth-Heinemann. J. IchemE.
- Desouza, A., and Pike, R.W., (1972), "Fluid Dynamics and Flow Pattern in Stirred Tank with a Turbine Impeller", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 50
- Distelhoff M.F.W., and Marquis A.J., (2000), "Scalar Mixing in The Vicinity of Two Disk Turbines and Two Pitched Blade Impellers", *Chemical Engineering Science*, vol.55, pp. 1905-1920.
- Geankoplis, C.J., (2003), "Transport Process and Unit Operation", New York : Prentice-Hall, Inc.
- Jakobsen, H.A., (2014), "Chemical Reactor Modelling", Berlin : Springer Science and Business Media.
- Magelli, F., Montante, G., Pinelli, D., Paglianti, A., (2013), "Mixing Time in High Aspect Ratio Vessels Stirred with Multiple Impellers", *Chemical Engineering Science*, vol. 101, pp. 713-720.
- Mahendra, I., and Affandy, Y.A.,(2016), "Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Pola Alir dalam Reaktor Biogas dengan Side-Entering Propeller", Skripsi, ITS, Surabaya.
- Mageli, F., Montante, G., Pinelli, D., Paglianti, A.,(2013), "Mixing Time in high aspect ratio vessels stirred with multiple impellers", *Chemical Engineering Science*, Vol. 101, hal 713-720.
- Nienow, A.W., (1997), "On Impeller Circulation and Mixing Effectiveness in The Turbulent Flow Regime", vol. 52, no.15, pp.2557-2565.
- Pradana, G.S., Andriani, S.D.,(2013), "Visualisasi Pola Alir dalam Tangki Berpengaduk Menggunakan *Side-Entering Mixer*". Skripsi. ITS.Surabaya.

- Sardeshpande, M.V., Kumar, G., Aditya, T., Ranade, V.V., (2016),” Mixing Studies in Unbaffled Stirred Tank Reactor using Electrical Resistance Tomography”, *Flow Measurement and Instrumental*, vol. 47, pp. 110-121.
- Septiani, N.I., Safitri, R.R., Nurtono, T., Winardi, S., (2013), “Macroinstability (Mi) In Stirred Tank With 6-Blade 45° Pitched Blade Turbine For Solid Liquid Suspension”, *Vol. 2, No.1*, hal.1-2.
- Sukmawedha, B.G., Sari, A.R., Nurtono, T., Winardi, S., (2012), “Simulasi Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk menggunakan Side-Entering Impeller untuk Suspensi Padat-Cair”, *Vol.1, No.1*, hal. 1-4.
- Sun, Q., Li, H., Yan, J.,Liu, L., Yu,Z., Yu, X., (2015), “*Selection of Appropriate Biogas Upgrading Technology-A Review of Biogas Cleaning Upgrading and Utilization*”, *Vol. 51*, hal. 521-532.
- Oldshue, J.Y., (1983), “Fluid Mixing Technology and Practice”. *J.Chem-Eng*, V.90, No.12, hal. 82.
- Versteeg, HK., and Malalasekera, W., (2007),”An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method (2nd Edition). USA : Pearson Prentice Hall.
- Walas, E.S.,(1990), “Chemical Process Equipment”. Butterworth-Heinemann.
- Wahyujati, A.H., Fandinuari, H., (2015),”Visualisasi Makro Instabilitas Pola Alir serta Pengukuran Pumping Capacity dan Mixing Time dalam Tangki Berpengaduk dengan Side-Entering Mixer”, Skripsi, ITS, Surabaya.
- Wesselingh, J. A., (1975), “Mixing of Liquids in Cylindrical Storage Tanks with Side-Entering Propeller”. *Chem.Eng.Sci.*,Vol.30, hal. 973-981.
- Zwietering,Th.N., (1958), “Suspending of Solids Particles in Liquid by Agitators”, *J.Chemical Engineering Science*, Vol.8, hal. 244-253.

BIOGRAFI PENULIS



ARI SUSANTI, dilahirkan di Jombang pada hari Sabtu tanggal 01 Juni 1991. Putri kedua dari pasangan Bapak Soli dan Ibu Ponati ini telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Karya (1996-1997), lalu di SD Negeri Wuluh II (1997-2004). Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri I Kesamben (2004-2007) dan di SMA Negeri I Gedeg, Mojokerto (2007-2010).

Setelah menempuh pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2010 dan lulus pada tahun 2014. Di tahun terakhir studi S-1, penulis mengerjakan Tugas Pra-Desain Pabrik dengan judul “PUPUK NPK (NITROGEN, PHOSPAT, KALIUM) DENGAN METODE *MIXED ACID ROUTE*”. Skripsi yang penulis kerjakan saat S-1 yakni “SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* PENGERINGAN BATUBARA KUALITAS RENDAH DALAM *FLUIDIZED BED DRYER*” di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Dr. Tantular Nurtono, ST., M. Eng., di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran. Penulis kemudian melanjutkan studi S-2 (2014-2016) di jurusan yang sama dengan tesis berjudul “STUDI HIDRODINAMIKA DAN PARAMETER MIXING TIME PADA REAKTOR BIOGAS DENGAN SIDE-ENTERING MIXER BERBASIS CFD”.

Contact Person

No. Hp: +6285 645 031 061

Email : ari.susanti0106@gmail.com