



SKRIPSI - TK 141581

**SIMULASI CFD KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA
FERMENTOR BIOETANOL**

APRILIAN AGUNG KRISUNARYA
NRP. 2313100021
FEDERIKO MARKUS L NAINGGOLAN
NRP. 2313100117

Dosen Pembimbing

Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng.
NIP. 197205201997021001
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 195209161980031002

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT - TK 141581

**CFD SIMULATION OF HYDRODYNAMICS CHARACTERISTIC
OF BIOETHANOL FERMENTER**

APRILIAN AGUNG KRISUNARYA
NRP. 2313100021
FEDRIKO MARKUS L NAINGGOLAN
NRP. 2313100117

Advisor

Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng.
NIP. 197205201997021001
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.
NIP. 195209161980031002

DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI CFD KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA FERMENTOR BIOETANOL

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

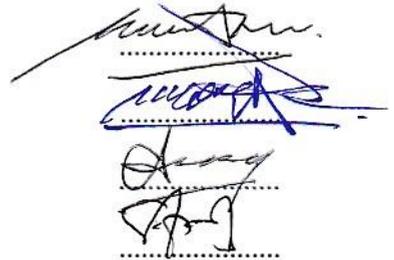
Oleh :

APRILIAN AGUNG K
FEDERIKO MARKUS L. N.

2313100021
2313100117

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.
(Pembimbing 1)
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc.
(Penguji I)
4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng.
(Penguji II)



SIMULASI CFD KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA FERMENTOR BIOETANOL

Nama : Aprilian Agung Krisunarya (2313100021)
Federiko Markus L. N. (2313100117)
Pembimbing : Dr. Tantular Nurtono ST., M.Eng
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk untuk mempelajari karakteristik hidrodinamika dalam tangki fermentor bioethanol berbasis CFD menggunakan *impeller* jenis *propeller* serta mengetahui validasi dari hasil simulasi terhadap hasil eksperimen. Penelitian ini dilakukan pada tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk *cone* dengan diameter 272 mm dan tinggi molasses adalah 158 mm. Pengaduk yang digunakan adalah *propeller* berdiameter 42,5 mm. Variabel kecepatan putar *impeller* yang digunakan untuk identifikasi pola alir adalah 275rpm, 375rpm, dan 475rpm. Sedangkan variabel kecepatan putar yang digunakan untuk pengamatan kontur konsentrasi adalah 700 rpm, 1000rpm, dan 1300rpm. Simulasi dilakukan menggunakan *CFD FLUENT 17.1* dengan permodelan turbulensi *k-ε standard* dan kondisi *transient*. Setelah melakukan tahap *pre-processing*, *solving*, dan *post-processing* pada simulasi, kemudian data-data yang diperoleh dianalisa. Hasil simulasi yang diperoleh adalah : Pola aliran yang dihasilkan dari *side entering impeller* dengan jenis *propeller* adalah *loop circulation*, terbentuk pula pola aliran yang tidak stabil disekitar dinding tangki. Yang kedua adalah semakin cepat kecepatan putar *impeller*, semakin besar juga kecepatan pada setiap titik, dimana kecepatan cenderung tinggi di daerah dekat *impeller* serta daerah yang sejajar dengan arah masuk *shaft*. Kemudian semakin cepat kecepatan putar *impeller* maka akan semakin cepat mencapai keadaan yang homogen. Yang terakhir adalah simulasi

yang telah dibuat dapat dikatakan realistis untuk menggambarkan proses eksperimen setelah melalui tahap validasi pola alir serta validasi distribusi kecepatan.

Kata kunci : *Side-entering*, Tangki Konis, *Propeller*, Pola Alir, Waktu Pencampuran, Homogenitas, CFD

CFD SIMULATION OF HYDRODINAMIC CHARACTERISTIC IN BIOETHANOL FERMENTOR

Name : **Aprilian Agung Krisuarya** (2313100021)
Federiko Markus L. N. (2313100117)
Advisors : **Dr. Tantular Nurtono S.T, M.Eng**
Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRACT

The objective for this study is to investigate hydrodynamic characteristic in bioethanol fermenter with CFD method and use *propeller*, this study also validation the result of simulation and the result of experiment. The study is carried out in a conicle bottomed cylindrical vessel with diameter of 272 mm and molasses height of 158 mm. The type of agitator is marine propeller with diameter of 42,5 mm. The variable of stirring rotation speed for flow pattern identification are 275 rpm, 375 rpm, and 475 rpm. Then, the variable of stirring rotation for concentration countur are 700 rpm, 1000 rpm and 1300 rpm. This study was done based on simulation with CFD FLUENT 17.1 program with the k- ϵ standard turbulence model and modelled at transient condition. After doing pre-processing , solving and post-processing steps in simulation , then the result of this simulation is analyzed. The result of this experiment are : the flow pattern of this side entering impeller that use *propeller* is a *loop circulation*, beside that there are some unstable flow pattern around the tank wall. Second, the velocity at any point will increase as much as the stirring rotation speed increase, where the high velocity will be on area near the propeller. Then, the homogeneity of the solution will reach easier with the faster rotation of the impeller . Then, the fastest flow in this simulation is in area near the impeller. And the last, this simulation can be used to illustrate the process in the experiment after through

the flow pattern validation process and also the velocity distribution validation process .

Keywords : *Side-entering*, Conical tank , Marine Propeller, Flow Patterns, Mixing Time , Homogeneity , CFD

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi kami yang berjudul:

“SIMULASI CFD KARATERISTIK HIDRODINAMIKA FERMENTOR BIOETANOL”

Laporan Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program Strata-1 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
3. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc., Ibu Dr. Siti Machmudah, ST., M.Eng., dan Ibu Orchidea Rachmaniah, S.T., M.T. sebagai dosen penguji dalam penelitian ini atas saran-saran yang diberikan.
5. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta Karyawan (Bapak Farid Indra,S.T.) Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran

Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis.

7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Rekan-rekan Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran periode 2016/2017 khususnya Mbak Ni'am dan Mbak Icha yang telah berjasa atas bantuan, semangat dan motivasinya.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS khususnya angkatan 2013 "K-53" yang senantiasa memberikan dukungan dalam pengerjaan proposal skripsi ini.
10. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
11. Rekan rekan STPO SPO, FoC, serta Hemas yang selalu memberi semangat serta dorongan dalam terselesainya skripsi ini.
12. Marietta Seania yang selalu memberi semangat serta dorongan dalam terselesainya skripsi ini.
13. Beberapa pihak lain yang tidak bisa kami paparkan satu persatu yang telah membantu kami.

Kami menyadari laporan skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya. Akhirnya kami harap laporan skripsi ini dapat memberikan sumbangan bagi pembaca.

Surabaya,

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	4
I.3 Batasan Masalah.....	4
I.4 Tujuan Penelitian	5
I.5 Manfaat Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Proses Pencampuran	7
II.2 Jenis Pengaduk.....	9
II.3 Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk.....	11
II.4 Permodelan Aliran Fluida.....	12
II.5 Computational Fluid Dynamics	13
II.5.1 Permodelan Multifase	15
II.5.2 Model Turbulensi $k-\epsilon$	16
II.5.3 Permodelan Impeller.....	19
II.6 Inhomogenitas.....	20
II.7 Penelitian Terdahulu	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Sistem yang Dipelajari.....	25
III.2 Prosedur Simulasi CFD	27
III.3 Variabel Percobaan.....	31
III.4 Kondisi Batas.....	32

III.5 Bidang Pengamatan	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Identifikasi Pola Alir.....	33
IV.2 Kontur Konsentrasi	49
IV.3 Validasi Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen	61
IV.3.1 Validasi Pola Alir.....	61
IV.3.2 Kecepatan Lokal.....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	73
V.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1	Dimensi Tangki Konis	25
Gambar III.2	Gemotri <i>Propeller</i>	26
Gambar III.3	<i>Meshing stationary zone</i>	28
Gambar III.4	<i>Meshing moving zone</i>	28
Gambar III.5	Flowchart Proses Iterasi FLUENT	30
Gambar III.6	Flowchart Proses Iterasi SIMPLE	31
Gambar III.7	Bidang Pengamatan Tangki.....	32
Gambar IV.1	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 4s	34
Gambar IV.2	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 6s	34
Gambar IV.3	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 8s	35
Gambar IV.4	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 10s	35
Gambar IV.5	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375 rpm pada Detik ke 4s	36
Gambar IV.6	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375 rpm pada Detik ke 6s	37
Gambar IV.7	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375 rpm pada Detik ke 8s	37
Gambar IV.8	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375 rpm pada Detik ke 10s	38
Gambar IV.9	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475 rpm pada Detik ke 4s	39
Gambar IV.10	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475 rpm pada Detik ke 6s	39
Gambar IV.11	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475 rpm pada Detik ke 8s	40
Gambar IV.12	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475 rpm pada Detik ke 10s	40
Gambar IV.13	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 4s	41

Gambar IV.14	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 6s	42
Gambar IV.15	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 8s	42
Gambar IV.16	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 10s	43
Gambar IV.17	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000 rpm pada Detik ke 4s	44
Gambar IV.18	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000 rpm pada Detik ke 6s	44
Gambar IV.19	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000 rpm pada Detik ke 8s	45
Gambar IV.20	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000 rpm pada Detik ke 10s	45
Gambar IV.21	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300 rpm pada Detik ke 4s	46
Gambar IV.22	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300 rpm pada Detik ke 6s	47
Gambar IV.23	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300 rpm pada Detik ke 8s	47
Gambar IV.24	Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300 rpm pada Detik ke 10s	48
Gambar IV.25	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Kecepatan Putar 700 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s.....	50
Gambar IV.26	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Kecepatan Putar 700 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s.....	51
Gambar IV.27	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Kecepatan Putar 1000 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s.....	52
Gambar IV.28	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki	

	Konis dengan Kecepatan Putar 1000 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s.....	53
Gambar IV.29	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Kecepatan Putar 1300 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s.....	54
Gambar IV.30	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Kecepatan Putar 1300 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s.....	55
Gambar IV.31	Grafik Perbandingan Waktu dan Homogenitas pada Tiap Kecepatan	57
Gambar IV.32	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 700 rpm	58
Gambar IV.33	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 700 rpm	58
Gambar IV.34	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 1000 rpm	59
Gambar IV.35	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 1000 rpm	59
Gambar IV.36	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 1300 rpm	60
Gambar IV.37	Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 1300 rpm	60
Gambar IV.38	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 275 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 275 rpm	61
Gambar IV.39	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 375 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 375 rpm	62
Gambar IV.40	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 475 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 475 rpm	62
Gambar IV.41	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan	

	Kecepatan 700 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 700 rpm	63
Gambar IV.42	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 1000 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 1000 rpm	63
Gambar IV.43	a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 1300 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 1300 rpm	64
Gambar IV.44	Gambar Koordinat Pengamatan Kecepatan Lokal pada Hasil Eksperimen	65
Gambar IV.45	Gambar Koordinat Pengamatan Kecepatan Lokal pada Simulasi	66
Gambar IV.46	Grafik Kecepatan Lokal pada Hasil Eksperimen	67
Gambar IV.47	Grafik Kecepatan Lokal pada Hasil Simulasi	68
Gambar IV.48	Grafik Perbandingan Kecepatan Lokal Antara Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi	69
Gambar IV.49	Distribusi Titik untuk Penentuan Perubahan Kecepatan	70
Gambar IV.50	Grafik Perubahan Kecepatan Masing Masing Titik Tiap 10 Milidetik pada Kecepatan Putar 475 rpm	72

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Spesifikasi Air yang Digunakan	26
Tabel III.2	Spesifikasi Molasses yang Digunakan.....	26
Tabel III.3	Hasil Statistic <i>meshing</i>	27

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dewasa ini, bioethanol semakin naik pamor seiring banyaknya penelitian dan inovasi terkait manfaatnya yang begitu besar, contohnya sebagai bahan alternatif. Untuk membuat bioethanol, digunakan bahan baku dengan kadar gula yang tinggi. Salah satunya adalah molasses/tetes tebu yang merupakan produk samping pabrik pengolahan tebu dengan kandungan gula mencapai lebih dari 50%. Salah satu tahap pembuatan bioethanol adalah tahap fermentasi. Tahap ini biasanya menggunakan tangki fermentor.

Jenis fermentor yang sering digunakan dalam proses fermentasi yaitu *tubular fermentor* dan fermentor tangki berpengaduk. *Tubular fermentor* ini terdiri dari dua jenis yaitu *fluidized bed reactor* dan *fixed bed reactor*. Permasalahan yang timbul dari *fluidized bed reactor* adalah adanya agitasi berat yang terjadi akibat kerusakan dari katalis dan terbentuknya debu. Sedangkan masalah yang timbul pada *fixed bed reactor* adalah sering terjadinya gradien panas yang tidak diinginkan, sulit dalam pengontrolan suhu dan sulit untuk dibersihkan atau diperbaiki sedangkan fermentor jenis tangki berpengaduk memiliki kelebihan dari sisi perpindahan panasnya lebih merata dan perpindahan massanya relative lebih baik.

Tangki berpengaduk merupakan peralatan penting yang digunakan dalam proses industri. Tangki berpengaduk secara luas digunakan dalam industri untuk memberikan sirkulasi pada aliran fluida didalamnya. Tangki berpengaduk banyak diaplikasikan untuk pencampuran, reaksi dua larutan yang terlarut, mendispersi dua larutan yang tak saling larut, pencampuran dalam sistem *multiphase*, dan lain-lain. Banyak sektor yang menggunakan pengadukan dalam skala yang besar, tidak hanya pada industri

kimia, melainkan industri makanan minuman, farmasi, kertas, plastik, keramik, dan karet.^[6]

Pengadukan bertujuan untuk mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas, baik yang disertai reaksi kimia maupun tidak. Biasanya dalam alat tangki berpengaduk yang merupakan satu sistem pencampuran dapat dilengkapi dengan *impeller* dan *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.^[7]

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengadukan tangki meliputi kecepatan putar impeller, geometri rangka, jenis fluida, sifat fluida, jenis impeller, jumlah impeller, dan letak atau posisi poros impeller. Berdasarkan posisi poros terhadap tangki impeller dapat dibagi menjadi tiga macam. Yakni, pengadukan dari atas (*Top entering*), pengadukan dari bawah (*Bottom entering*), dan pengadukan dari samping (*Side entering*). Tangki berpengaduk yang menggunakan *bottom entering* baik digunakan untuk densitas dan viskositas liquid yang tinggi, biasanya digunakan untuk industri berbahan baku zat organik dan bioteknologi, Sedangkan *top entering* baik untuk tinggi *vessel* dengan rasio level operasi dan diameternya lebih besar dari 1 tetapi tidak dapat di aplikasikan untuk densitas liquida yang tinggi. Untuk *side entering* direkomendasikan untuk zona agitasi atau level agitasinya tidak lebih dari 100% dari diameter tangki atau lebar tangki dan tidak ada batasan untuk aplikasinya.

Tangki berpengaduk dengan menggunakan *side-entering impeller* biasanya digunakan sebagai tangki penyimpanan yang besar dimana penggunaan *top entering mixer* tidak dapat digunakan karena keterbatasan pemasangan *shaft*. Kelebihan dari *side-entering impeller* pada tangki penyimpanan yang besar adalah pemasangan yang mudah karena tidak dibutuhkannya *overhead*

support seperti yang diperlukan untuk pemasangan *top entering mixer*, *shaft* yang digunakan tidak terlalu panjang, dan biaya yang rendah. *Side-entering impeller mixer* dipasang didekat bagian bawah tangki, sehingga *side-entering impeller mixer* selalu terendam oleh *liquid* meskipun level *liquid* nya tidak tetap. ^[11] Oleh karena itu, pencampuran atau pengadukan dengan *side entering impeller* mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produktivitas dan keuntungan.

Selama ini telah banyak dilakukan penelitian terhadap *top entering mixer* baik dengan metode eksperimen maupun metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Tetapi penelitian terhadap *side entering mixer* belum banyak dilakukan. Begitu juga dengan penelitian untuk pencampuran di dalam tangki berpengaduk jenis silinder dengan bagian dasar konis (*conical bottomed cylindrical tank*) menggunakan *side-entering* dibagian konis. Tangki tersebut biasanya digunakan untuk bioreaktor / fermentor dan zat yang dicampur didalamnya memiliki perbedaan viskositas yang cukup besar.

Pada dasarnya, aksi pengadukan di dalam tangki berpengaduk dapat diamati melakukan eksperimen untuk diperoleh hasil yang nyata, tetapi metode eksperimen lebih sulit dan lebih mahal jika dilakukan pada tangki besar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Penggunaan CFD lebih fleksibel dan mudah untuk memodifikasi konfigurasi dan dimensi tangki, orientasi dan kecepatan impeller, dan properti fluida. Kode CFD tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida.

Pola alir di dalam tangki berpengaduk sangat kompleks dan bervariasi terhadap skala waktu, hal ini merupakan fenomena yang menarik untuk diamati di dalam tangki berpengaduk.

Fermentor adalah tangki atau wadah dimana didalamnya seluruh sel (mikroba) mengubah bahan dasar menjadi produk biokimia dengan atau tanpa produk sampingan. Macam-macam reactor adalah sebagai berikut

1. Bioreaktor tanki adukan (*Stirred Tank Bioreactor*) udara disirkulasikan melalui medium yang diaduk dengan impeller.
2. Bioreaktor kolom gelembung (*Bubble Column Bioreactor*) udara dialirkan melalui *sparger* di dasar bejana.
3. Bioreaktor dengan pancaran udara (*Airlift Bioreactor*) terdiri dari dua kolom yang dimasukkan ke dalam kolom yang lain. Udara dipaksa masuk melewati pipa sehingga udara dapat terpancar keatas dan medium ikut terbawa.
4. Bioreaktor terkemas padat diisi dengan bahan padatan yang dapat menjaring mikrobia masuk kedalamnya. ^[12]

I.2 Perumusan Masalah

1. Kinerja fermentor bergantung pada aliran fluida
2. Aliran fluida bergantung pada jenis dan kecepatan *impeller*
3. Fluida kerja yang digunakan memiliki perbedaan viskositas yang besar

I.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam tangki berpengaduk jenis silinder dengan bagian dasar konis (*conical bottomed cylindrical tank*) menggunakan *side-entering* dibagian konis dengan menggunakan *propeller* serta proses yang digunakan adalah proses *batch*.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh kecepatan putar *impeller* terhadap pola aliran yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan putar *impeller* pada pencampuran *molasses* dan air.
3. Mengetahui kecepatan fluida dalam tangki pada tiap titik pengamatan.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk mendesain fermentor dengan *side entering mixer* pada skala industri.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Proses pencampuran

Dalam industri kimia proses pencampuran (*mixing*) sering digunakan karena proses ini dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan panas. Proses pencampuran ini dilakukan dalam suatu alat yang disebut tangki berpengaduk. Tangki pengaduk secara umum terdiri dari *impeller* yang terhubung dengan shaft sebagai penggeraknya, dan dilengkapi dengan *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. Bentuk geometri dari tangki berpengaduk sangat menentukan dalam proses pencampuran agar tercapai tujuan pencampuran seperti yang diinginkan.

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 *form* dan mempermudah gas untuk bisa terangkat dari proses fermentasi substrat pada kondisi kering.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pencampuran adalah:

1. Jenis pengaduk yang digunakan
2. Kecepatan putar pengaduk. Aliran yang turbulen dan laju alir bahan yang tinggi biasanya menguntungkan proses pencampuran. Sebaliknya, aliran yang laminar dapat menggagalkan pencampuran.

3. Ukuran serta perbandingan (*proporsi*) tangki
4. 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.
5. Karakteristik fluida. Sebagai contoh dimana semakin besar kelarutan bahan-bahan yang akan dicampur maka semakin baik pula pencampurannya

Side Entering adalah tangki dengan impeller yang dipasang dari sisi samping dinding dengan posisi poros impeller yang relatif horisontal. Diameter untuk *side entering tank* yang digunakan mempunyai ukuran yang besar untuk memaksimalkan pencampuran. *Side entering* biasa digunakan dalam tangki minyak pelumas yang digunakan untuk mempertahankan keseragaman konsentrasi bahan aditif. Selain itu juga digunakan untuk Paper Pulp Chest yang berfungsi untuk mempertahankan konsistensi suspensi dalam tangki. Sedangkan dalam tangki penyimpanan Crude-Oil digunakan untuk mengontrol Sludge dalam tangki penyimpanan (storage). Kinerja side-entering tank ditentukan oleh profil aliran (velocity vector) yang dihasilkan, yang mana velocity vector ini dipengaruhi oleh distribusi konsentrasi dan deadzone (zona mati). Deadzone (zona mati) adalah daerah yang tidak terpengaruhi oleh efek dari pengadukan itu sendiri. Deadzone yang dihasilkan biasanya tidak lebih dari 1%.

Keuntungan dari *side entering* ini sendiri adalah biaya awal yang rendah dan tidak ada pemasangan bantalan di atas tangki. Penurunan kecepatannya sederhana karena kecepatan operasinya lebih tinggi daripada kebanyakan *turbine mixer*. *Side entering agitator* digunakan untuk *blending* zat cair yang viskositasnya rendah pada tangki yang besar, dimana ini tidak dapat digunakan untuk *agitator* konvensional yang didukung dari atas tangki. *Side entering agitator* yang digunakan untuk zat cair yang mudah terbakar, perlindungan khusus harus digunakan pada desain dan perawatan dari *shaft seal*.^[13]

II.2 Jenis Pengaduk

Pengaduk dalam tangki memiliki fungsi sebagai pompa yang menghasilkan laju volumetrik tertentu pada tiap kecepatan putaran 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. ^[15]

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.

Berdasarkan 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 diatas. ^[6]

Menurut bentuknya, pengaduk dapat dibagi menjadi 3 golongan:

1. *Propeller*

Kelompok ini biasa digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi antara 400 – 1750 rpm dengan arah aliran aksial. Jenis pengaduk ini biasa digunakan untuk larutan dengan viskositas yang rendah. Kapasitas sirkulasi yang dihasilkan *propeller* 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 *propeller* terutama menimbulkan aliran arah aksial, arus aliran meninggalkan pengaduk secara kontinu 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 sudu tegak datar dan bersudut konstan. Pengaduk jenis ini digunakan pada viskositas fluida rendah serta dapat digunakan pada kecepatan tinggi seperti halnya pengaduk jenis *propeller*. Pengaduk turbin menimbulkan aliran arah radial dan tangensial. Di sekitar turbin terjadi daerah turbulensi yang kuat, arus dan geseran yang kuat antar fluida. Pengaduk jenis ini juga sangat baik dalam proses dispersi gas. Salah satu jenis pengaduk *turbine* adalah *pitched blade*. Pengaduk jenis ini memiliki sudut sudu konstan. Aliran terjadi pada arah aksial, meski demikian terdapat pula aliran pada arah radial. Aliran ini akan mendominasi jika sudu berada dekat dengan dasar tangki.

3. Hydrofoil Impeller

Pengaduk jenis ini digunakan pada proses pencampuran , sangat efisien digunakan viskositas rendah hingga 750000 cps. Penggunaan pengaduk jenis ini juga dapat meningkatkan transfer panas ke dinding tabung. Juga digunakan untuk menangani masalah pencampuran pada pencampuran suspensi padat dengan konsentrasi rendah hingga 65%. Desain ini terbagi menjadi tiga jenis , yaitu pisau sempit hidrofoil disebut “soliditas rendah” hidrofoil , pisau yang lebih lebar disebut “soliditas ringan” , dan pisau yang paling lebar “soliditas tinggi”. Pengaduk ini mempunyai tiga blade dengan kemiringan 45° atau 36°.

II. 3 Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk

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 *flat blade turbine* akan cenderung membentuk pola aliran radial sedangkan *inclined blade turbine* dan propeller cenderung membentuk aliran aksial.

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

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

Komponen radial dan tangensial terletak pada daerah horizontal dan komponen longitudinal pada daerah vertikal untuk kasus tangkai 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 disekitar pengaduk. Gerakan melingkar tersebut dinamakan vorteks. ^[4]

Vorteks dapat terbentuk disekitar pengaduk ataupun di pusat tangki yang tidak menggunakan *baffle*. Fenomena ini tidak diinginkan dalam industri karena berbagai 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 kedalam fluida karena tinggi fluida dipusat 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 tangki pengaduk lebih ke tepi (*off-center*)
2. Menempatkan tangki pengaduk dengan posisi miring
3. Menambahkan *baffle* pada dinding tangka

II.4 Permodelan Aliran Fluida

Fenomena aliran dapat dimodelkan dengan persamaan matematis yaitu persamaan kontinuitas (hukum kekekalan massa) dan persamaan momentum (hukum kekekalan momentum).

Persamaan kontinuitas untuk suatu fluida *compressible* pada aliran *unsteady* dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Atau dalam notasi vektor sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0 \quad (2.2)$$

Untuk aliran *incompressible*, nilai densitas (ρ) adalah konstan dan persamaan (2.2) menjadi :

$$\nabla(\rho v) = 0 \quad (2.3)$$

Atau persamaan (2.1) menjadi :

$$\frac{\partial(V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(V_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

Hukum kedua Newton menyatakan bahwa laju perubahan momentum pada partikel fluida sama dengan jumlah gaya - gaya yang bekerja pada partikel. Gaya- gaya tersebut dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *surface force* dan *body force* meliputi *gravity force*, *centrifugal force*, dan *electromagnetic force*. *Body force* biasanya dinyatakan sebagai *source term* dalam suatu persamaan momentum. [1]

Persamaan momentum dalam arah sumbu x,y dan z (persamaan gerak) dimana untuk fluida Newtonian *incompressible* dan μ konstan dapat ditulis dalam bentuk-bentuk persamaan *Navier-Stokes* sebagai berikut:

Komponen x:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho G_x \quad (2.5)$$

Komponen y:

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) + \rho G_y \quad (2.6)$$

Komponen z:

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho G_z \quad (2.7)$$

II.5 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini meliputi fenomena yang berhubungan dengan aliran fluida seperti sistem liquid dua fase, perpindahan massa dan panas, reaksi kimia, 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 tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*. *Pre-processing* meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh solver. Langkah-langkah dalam tahap ini:

- Pendefinisian geometri yang dianalisa.
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih.
- Seleksi fenomena fisik yang perlu dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berimpit dengan batas domain.
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur, dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam tiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid.

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu : *finite difference*, *finite element*, *finite volume* dan metode spektral. Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis.
- Penyelesaian persamaan aljabar.

Metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formulasi *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada software CFD. Algoritma numerik metode ini terdiri dari :

- Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan pada semua kontrol volume domain.
- Diskretisasi persamaan integral menjadi sistem persamaan aljabar.
- Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

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

1. Domain geometri dan *display*.
2. Plot vektor.
3. Plot kontur.
4. Plot 2D dan 3D *surface*.
5. Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, skala, dan sebagainya).
6. Animasi *display* hasil dinamik.

Di dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma-algoritma numerik yang disesuaikan dengan permasalahan dan sistem yang akan dimodelkan.

II.5.1 Pemodelan Multifase

Pada prinsipnya ada dua pendekatan untuk pemodelan multifase yaitu *Lagrangian* dan *Euler-Euler*. Pendekatan *lagrangian* umumnya digunakan pada pemodelan multifase konsentrasi rendah sedangkan pendekatan *eulerian* dapat digunakan untuk daerah konsentrasi dan komposisi yang lebih luas. Pendekatan lagrangian mengasumsikan fasa *dispersed*. Pendekatan *eulerian* sangat kompleks sehingga diperlukan penyederhanaan seperti menempati volume yang lebih kecil dan lintasan partikel dihitung secara individual pada selang waktu tertentu selama

perhitungan *fluid phase* . Adapun untuk pendekatan *eulerian*, fase yang berbeda dianggap sebagai interpenetrating continua. Volume sebuah fasa tidak dapat ditempati oleh fasa lain, dimana volume fraksi ini di asumsikan sebagai fungsi dari ruang dan waktu. Ada tiga model aliran multifase untuk pendekatan *eulerian* yaitu *Volume of Fluid (VOF)*, *mixture model*, dan *eulerian model*.

Model Eulerian menyelesaikan satu set persamaan momentum dan kontinuitas untuk masing-masing fase. Coupling di capai melalui tekanan dan koefisien transfer antar fasa. Untuk aliran granular , property diperoleh dari aplikasi teori kinetik dan transfer momentum antar fase tergantung jenis campuran yang dimodelkan.

Mixture model mengasumsikan tidak ada interface antara dua fase yang immiscible dan memungkinkan kedua fase untuk saling mempengaruhi. Model ini juga memungkinkan kedua fase untuk bergerak dengan kecepatan yang berbeda. *Mixture model* dalam penggunaanya fluent dan dikombinasikan dengan pemodelan gerakan impeller sliding mesh

Model VOF adalah teknik *surface tracking* yang di terapkan *fixed Eulerian mesh*. Model ini dirancang untuk dua atau lebih cairan immiscible dimana posisi interface antar cairan adalah yang paling penting. Adapun untuk penyelesaian satu set persamaan momentum dibagi oleh cairan, dan fraksi volume masing masing cairan dalam setiap sel komputasi dilacak di seluruh domain.

II.5.2 Model Turbulensi k-ε

Terdapat dua model dinamika aliran fluida yang dikenal yaitu aliran laminar, dan aliran turbulen yang pada umumnya dikenal dari bilangan Reynold yang dimilikinya, nilai batas diantara keduanya disebut aliran transisi. Aliran akan menjadi turbulen jika gaya viskos lokal mampu diatasi oleh gaya inersia, gaya apung, gaya sentrifugal atau gaya lainnya. Pada saat gaya inersia dan gaya badan (body force) cukup besar dibandingkan gaya viskos, maka kedua gaya ini akan memperbesar gangguan-

gangguan acak yang ada pada setiap aliran untuk kemudian tumbuh dan menjadi tidak stabil dan tidak linear, berinteraksi satu dengan yang lain dan bergabung menjadi gerakan acak yang tidak beraturan. Pada saat tersebut aliran kemudian berubah menjadi turbulen. Dua persamaan model turbulensi memberikan penentuan panjang turbulen dan skala waktu dengan menyelesaikan dua persamaan. Model standard $\kappa - \varepsilon$ merupakan model semi empiris berbasis model persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (κ) dan laju disipasi (ε), yang dikembangkan oleh Launder & Spalding. Dalam model ini diasumsikan bahwa aliran telah berkembang penuh penuh (*fully turbulent*) dan efek viskositas molekular diabaikan. Persamaan *turbulence kinetic energy* (k) dan *dissipation rate* (ε) berturut-turut adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \\ + S_k \end{aligned} \quad (2.8)$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - \\ C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2.9)$$

G_k adalah generation dari *turbulence kinetic energy* yang disebabkan oleh *gradient* kecepatan rata-rata dihitung dari,

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.10)$$

G_k dievaluasi terhadap konsistensinya, sehingga

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (2.11)$$

dimana S adalah modulus dari rate rata-rata dari strain tensor, didefinisikan sebagai

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (2.12)$$

G_b adalah *generation* dari *turbulence kinetic energy* yang disebabkan oleh *bouyancy*. G_b dihitung saat medan gaya gravitasi dan *gradient temperature* muncul secara simultan. Persamaan untuk G_b adalah,

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.13)$$

dimana Pr_t adalah bilangan Prandtl *turbulence* untuk energi dan g_i adalah komponen vektor gravitasi dalam arah i . β adalah koefisien ekspansi *thermal* didefinisikan sebagai

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.14)$$

Pengaruh *bouyancy* terhadap ε ditentukan oleh konstanta $C_{3\varepsilon}$ yang dihitung dengan persamaan

$$C_{3\varepsilon} = \tanh \left| \frac{v}{u} \right| \quad (2.15)$$

dimana v adalah komponen dari laju alir paralel terhadap vektor gravitasi dan u adalah komponen laju alir tegak lurus terhadap vektor gravitasi.

Y_M adalah fluktuasi dilatasi dalam *compressible turbulence* terhadap *overall dissipation rate*. Untuk aliran dengan bilangan *Mach* yang tinggi, *compressibility* mempengaruhi turbulensi di sebut “*dilatation dissipation*”, yang mana pada normalnya diabaikan dalam permodelan aliran *incompressible*. Pengabaian *dilatation dissipation* menyebabkan kegagalan memprediksi penurunan dalam laju penyebaran dengan peningkatan bilangan *Mach* untuk *compressible mixing* dan *free shear* yang lain. Untuk menghitung

efek ini, dalam ANSYS FLUENT, *dilatation dissipation*, Y_M , dimasukkan dalam persamaan k .

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (2.16)$$

dimana M_t adalah bilangan *Mach* didefinisikan sebagai $M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}}$, dimana $a(\equiv \sqrt{\gamma RT})$, μ_t , *turbulent* atau *eddy viscosity* dihitung melalui kombinasi k dan ε melalui persamaan

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.17)$$

dengan C_μ adalah konstanta sebesar 0,09.

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ = konstanta berturut-turut 1,44; 1,92

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ = bilangan *turbulent Prandtl* untuk k dan ε berturut-turut 1, 1,3

S_k, S_ε = user defined source

Model k - ε adalah deskripsi turbulensi yang lebih canggih dan umum, namun juga lebih mahal, yang memungkinkan efek pengangkutan sifat turbulensi oleh konveksi dan difusi dan untuk produksi dan penghancuran turbulensi. ^[14]

II.5.3 Permodelan Impeller

Sliding Mesh merupakan permodelan yang cocok untuk permasalahan yang melibatkan interaksi rotor atau stator dan melibatkan dua daerah mesh yaitu daerah yang berdekatan dengan rotor sebagai zona bergerak dan daerah yang berdekatan dengan stator sebagai zona diam, dimana kedua daerah tersebut dibatasi oleh sebuah “*slipping plane*”.

Untuk suatu tangki pencampur yang dilengkapi *impeller*, dapat didefinisikan suatu kerangka acuan yang berputar (*rotating reference frame*) yang melibatkan *impeller* dan aliran disekitarnya, menggunakan kerangka diam (*stationary frame*)

untuk aliran di luar *impeller*. Contoh dari konfigurasi ini dapat diilustrasikan pada

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-confirmal* pada setiap *grip interface*. Untuk menghitung *interface flux*, persimpangan antara zona *interface flux*, persimpangan antara zona *interface* ditentukan setiap *time step* step yang baru. Hasil dari persimpangan menghasilkan sebuah zona interior (zona dengan sel fluida pada kedua sisinya) dan satu atau lebih zona periodic. Jika tidak periodic, 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 II.2 pada prinsipnya, flux yang memotong *grid interface* dihitung dengan menggunakan gambaran yang dihasilkan dari persimpangan dua zona *interface*.

Selain metode *Sliding Mesh*, dapat digunakan metode *Multiple Reference Frame* (MRF). Metode ini tidak jauh beda dengan metode *sliding mesh*, 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*.

II.6. Indeks Homogenitas

Indeks homogenitas (γ) mewakili bagaimana *specified field variable* (ϕ) bervariasi berdasarkan permukaan, di mana nilai 1 menunjukkan homogenitas tertinggi. Indeks homogenitas dapat diukur berdasarkan area atau massa. Indeks homogenitas yang diukur berdasarkan area mengukur variasi kuantitas (misalnya, konsentrasi), sedangkan indeks homogenitas yang diukur berdasarkan massa mengukur variasi fluks (misalnya, Fluks spesies).

Indeks homogenitas yang diukur berdasarkan area (γ_a) pada *specified field variable* (ϕ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\gamma_a = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [(|\phi_i - \bar{\phi}_a|) A_i]}{2|\bar{\phi}_a| \sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.18)$$

Dimana (i) adalah *facet index* dari permukaan yang memiliki n *facets*, dan untuk menghitung nilai rata - rata dari *field variable* berdasarkan permukaan dapat digunakan rumus berikut :

$$\bar{\phi}_a = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.19)$$

II. 7 Penelitian Terdahulu

Dakhel, Asghar Alizadeh dan Masoud Rahimi (2004). Keduanya meneliti mengenai homogenisasi *crude oil storage tank* dalam skala besar dengan menggunakan simulasi CFD. Dalam penelitian ini digunakan tangki *storage* yang memiliki volume sebesar 19000 m³ serta digunakan *impeller* jenis *marine type* dengan diameter sebesar 0,65 meter. Untuk permodelan *impeller*-nya menggunakan metode *Multiple Frame Reference* (MFR) sementara untuk metode turbulensinya menggunakan metode κ - ϵ . Setelah dilakukan percobaan ternyata menunjukkan hasil yang baik dalam menggambarkan proses yang telah ada.

Elqotbi, Mohammed., S.D Vlaev, L. Montastruc, I. Nikov (2012). Penelitian ini membahas mengenai permodelan tangki bioreaktor dua fase dengan menggunakan CFD dan metode yang digunakan adalah *euler – euler*. Setelah dibandingkan dengan hasil eksperimen didapatkan hasil yang tidak terlalu jauh. Hal ini menunjukkan bahwa CFD dapat digunakan untuk mempelajari dan menggambarkan proses dari eksperimen ini.

Moilanen, Pasi., Marko Laakkonen, dan Juhani Aittamaa (2005). Reaktor *gas- liquid* berpengaduk telah banyak digunakan dalam industri. Dalam fermentasi aerobik oksigen terlarut sangat penting dalam efisiensi pengoperasian reaktor. Untuk membuat desain reaktor yang akurat dibutuhkan permodelan yang sangat detail. Untuk validasi hasil simulasi dibutuhkan data eksperimen, namun karena data fermenter skala industri tidak mudah untuk didapatkan maka sebagai alternatif digunakanlah fermenter dengan model yang lebih sederhana. Simulasi *eulerian* CFD menggunakan fermenter bervolume 70 m³. Pengukuran properti fisik dari 0,25 w-% larutan xanthan dan ukuran *bubble* 2 mm. Permodelan turbulensi yang digunakan adalah κ - ϵ . Simulasi yang dilakukan terdapat 2 yaitu yang pertama merupakan proses penyebaran gas NH₃ dan *nutrient*. Yang kedua adalah *mass transfer* gas dan cairan yang berasal dari reaksi xanthan. Sebagai hasil diketahui bahwa simulasi dapat menunjukkan fenomena pencampuran seperti halnya yang ditunjukkan pada proses eksperimental. Prediksi yang dihasilkan akan lebih akurat dengan penambahan populasi kesetimbangan gelembung.

Cahyani, Anugrah Budi dan Carolina (2016). Penelitian ini mempelajari simulasi pencampuran molases dan air pada tangki konis. Penelitian ini dilakukan pada tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk cone dengan diameter 260 mm dan tinggi molasses adalah 130 mm. Pengaduk yang digunakan adalah marine propeller berdiameter 33 mm. Variabel kecepatan putar impeller yang digunakan adalah 1300rpm dan 1600rpm. Permodelan turbulensi yang digunakan adalah k- ϵ standard dengan kondisi transient. Hasil simulasi yang diperoleh adalah : Pola aliran yang

dihasilkan dari side entering impeller dengan jenis impeller marine propeller adalah loop circulation , terbentuk pula pola aliran yang tidak stabil disekitar dinding tangki; pada kecepatan putar impeller 1300rpm didapatkan waktu pencampuran sebesar 29,1s sedangkan untuk kecepatan putar impeller 1600rpm didapatkan waktu pencampuran sebesar 19,2s dengan nilai indeks homogenitas 0,9224 ; pada detik ke 30 , untuk variabel kecepatan putar 1300rpm mencapai nilai indeks homogeitas maksimal yaitu 0,9237 dan untuk variabel kecepatan putar 1600rpm mencapai nilai indeks homogenitas maksimal yaitu. 0,9832.

Madhania, dkk. (2017). Penelitian ini menyajikan simulasi CFD tiga dimensi dan transien dari sistem cair-cair yang mudah tercampur (air-molases) dalam tangki pengaduk yang dioperasikan dalam aturan turbulensi. Proses pencampuran sangat penting bila viskositas dan densitas larutannya berbeda, meski solusinya saling larut. Ada dua konfigurasi yang digunakan dalam pemodelan. Konfigurasi pertama adalah tangki silinder berbentuk kerucut yang dilengkapi dengan *side-entry marine propeller* dan yang kedua dilengkapi dengan *top-entry marine propeller*. Geometri tangki ($D = 0,26$ m dan $H = 0,363$ m) dan *propeller* ($d = 0,033$ m) sama pada kedua konfigurasi. Perhitungan transien dilakukan dengan menggunakan pendekatan mixture model multiphase flow ditambah dengan model turbulensi RANS (Standard $k-\epsilon$) dengan time step 0,01 s. Pendekatan *multiple reference frame* digunakan untuk memodelkan gerak *propeller*. Beberapa hasil simulasi meliputi pengenalan pola aliran dan distribusi molases yang telah dibahas. Pola aliran pada konfigurasi *top-entry* menunjukkan *double loop circulation* yang stabil. Sedangkan pola aliran pada konfigurasi *side-entry* menunjukkan sirkulasi loop di sekitar *marine propeller*, beberapa pola aliran tidak stabil dan tidak teratur juga terbentuk di sekitar dinding tangki. Variasi pola aliran yang terjadi menunjukkan ketidakstabilan proses pencampuran dalam konfigurasi side-entry. Ada proses pencampuran berbeda yang signifikan yang dihasilkan dari *side-entry* dan *top-entry* berdasarkan distribusi molases di dalam tangki.

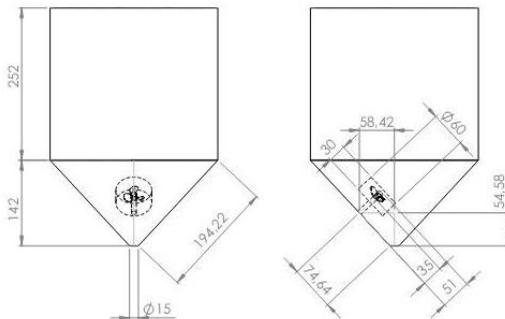
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

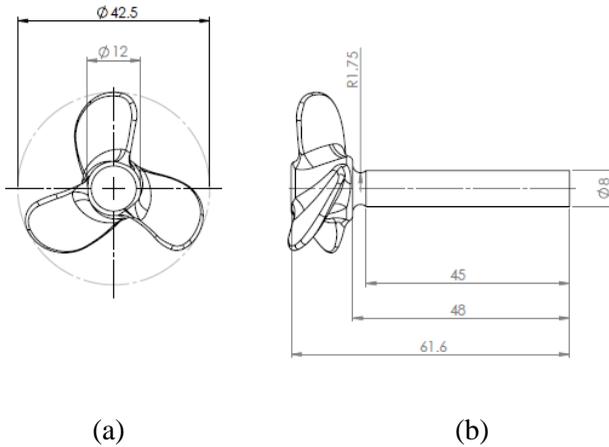
Proses pembuatan sistem dalam penelitian ini menggunakan piranti lunak ANSYS® 17.1 *Academic Package* dengan lisensi pengguna milik Jurusan Teknik Kimia ITS. Untuk permodelan geometri digunakan Design Modeller® dengan penentuan *grid* dan jumlah *node* menggunakan *Meshing*® dan perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®

III.1 Sistem yang Dipelajari

Sistem yang digunakan dalam penelitian karakteristik hidrodinamika fermentor bioetanol ini adalah tangki silinder dengan dasar konis (*conicle bottomed cylindrical tank*) dengan diameter $D = 272$ mm, tinggi silinder atas = 252 mm dan tinggi konis = 142 mm seperti ditunjukkan pada Gambar III.1. *Impeller* aksial digunakan untuk memberi gaya dorong dan digunakan pada tangki yang berskala kecil. *Propeller* berdiameter pada aplikasinya digunakan pada tangki berskala kecil dimana *pitch* dapat diatur berbeda-beda untuk mengubah kapasitas pemompaan dan gaya dorongnya. *Propeller* yang digunakan berdiameter 42,5 mm. Bentuk geometri seperti ditunjukkan Gambar III.2.



Gambar III.1 Dimensi Tangki Konis



Gambar III.2 Geometri *Propeller*. (a) Tampak depan ;
(b) Tampak samping

Tabel III.1 Spesifikasi Air yang Digunakan

Jenis	Air
Suhu (°C)	32
Densitas (kg/m ³)	998,2
Viskositas (kg/m.s)	1,003 x 10 ⁻³

Tabel III.2 Spesifikasi Molasses yang Digunakan

Jenis	Molasses
Suhu (°C)	32
Densitas (kg/m ³)	1297,66
Viskositas (kg/m.s)	2,09
Kadar Gula (% massa)	56

III.2. Prosedur Simulasi CFD

Simulasi yang dilakukan melalui beberapa tahapan proses yaitu *Pre-Processing*, *Solving* dan *Post Processing*.

Tahapan *Pre-Processing*

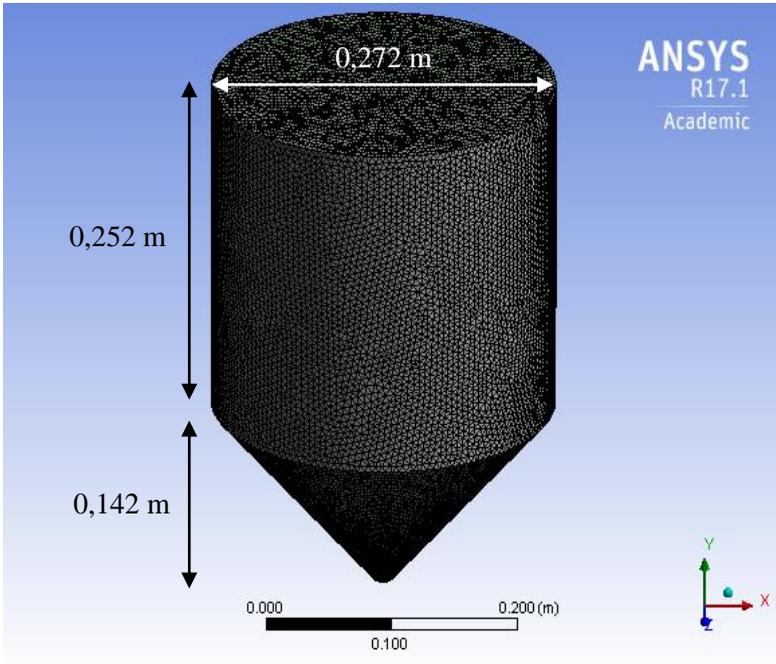
Geometri dan *meshing* menggunakan *software Design Modeller*[®]

1. Membuat model geometri
2. Membuat *grid* menggunakan *Meshing*[®] untuk *stationary zone* dan *moving zone* untuk aliran fluida, dan mendefinisikan *boundary condition*.

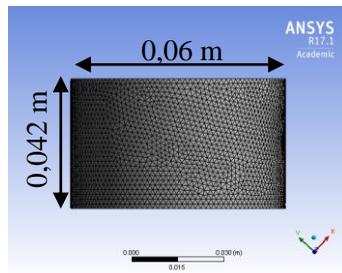
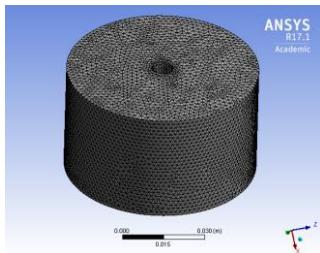
Berikut ini adalah data statistik *meshing* untuk *moving zone*, *static zone* dan gabungan dari keduanya :

Tabel III.3 Hasil statistic *meshing*

Statistic	Moving Zone	Static Zone
<i>Meshing</i> Type	Tetrahedron	Tetrahedron
Nodes	195674	116296
Elements	1081649	639747
Skewness (ave)	0,22684	0,21651
Statistic	Gabungan	
Nodes	311970	
Elements	1721396	



Gambar III.3 *Meshing stationary zone*



Gambar III.4 *Meshing moving zone*

Tahapan *Solving*

Sistem *unsteady state* menggunakan software FLUENT®

A. Identifikasi Pola Alir

1. Membaca mesh dari *stationary zone* kemudian melakukan *append case* untuk membaca dan menggabungkan dengan *moving zone*
2. Memilih persamaan yang akan digunakan, yaitu *k-ε standard* dan *Moving Frame References (MRF)*
3. Membuat bidang pengamatan secara vertical
4. Mendefinisikan material yang akan digunakan dalam simulasi, yaitu air
5. Menentukan kondisi operasi dan kondisi batas pada sistem yang diuji dalam FLUENT®
6. Mengatur penyelesaian parameter-parameter yang mengontrol yaitu *solution method* : SIMPLE dan *solution control*.
7. Menghitung penyelesaian berdasarkan perhitungan matematis pada program fluent yang telah dikontrol dengan *time step* 0.01s dan iterasi/*time step* : 20.
8. Membuat bidang pengamatan dan mengatur *solution animation*

B. Kontur Konsentrasi

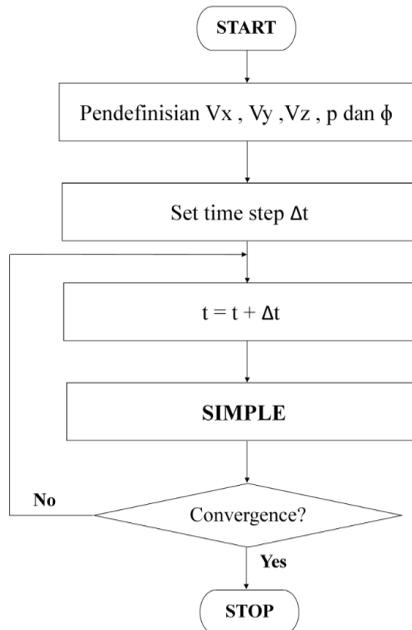
1. Membaca mesh dari *stationary zone* kemudian melakukan *append case* untuk membaca dan menggabungkan dengan *moving zone*
2. Memilih pemodelan multifase yang digunakan, yaitu *mixture*
3. Memilih persamaan yang akan digunakan, yaitu *k-ε standard* dan *Moving Frame References (MRF)*
4. Mendefinisikan material yang akan digunakan dalam simulasi, yaitu Air dan Larutan Molasses (ukuran droplet = 10 μm)
5. Membuat bidang pengamatan secara vertical, dengan kondisi awal molasses berada pada bagian konis dengan tinggi 0,158 m dari dasar tangki.
6. Menentukan kondisi operasi dan kondisi batas pada sistem yang diuji dalam FLUENT®

7. Mengatur penyelesaian parameter-parameter yang mengontrol yaitu *solution method* : SIMPLE dan *solution control*.
8. Menghitung penyelesaian berdasarkan perhitungan matematis pada program FLUENT yang telah dikontrol dengan *time step* 0.01s dan iterasi/*time step* : 20.
9. Membuat bidang pengamatan dan mengatur *solution animation*

Tahapan Post processing

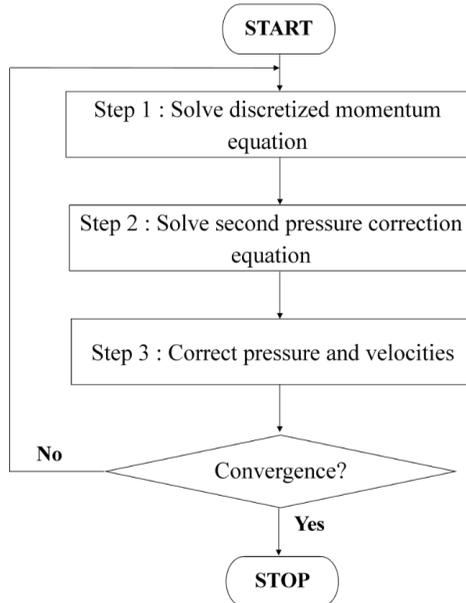
1. Memperoleh hasil simulasi berupa gambar, data indeks homogenitas dan data kecepatan pada beberapa titik yang telah diatur sesuai bidang pengamatan
2. Menganalisa gambar dan data yang didapat

Flowchart proses iterasi FLUENT dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar III.5 Flowchart Proses Iterasi FLUENT

Flowchart proses iterasi SIMPLE dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar III.6 Flowchart Proses Iterasi SIMPLE

III.3. Variabel Percobaan

Variabel yang digunakan dalam sistem yang dipelajari adalah:

Variabel kecepatan putar:

- Identifikasi Pola Alir
 - 275 rpm
 - 375 rpm
 - 475 rpm
 - 700 rpm
 - 1000 rpm
 - 1300 rpm
- Pencampuran Molases
 - 700 rpm
 - 1000 rpm
 - 1300 rpm

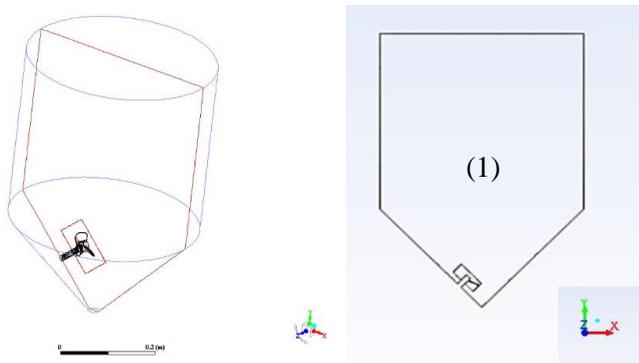
III.4. Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan untuk sistem yang dipelajari antara lain:

1. Dinding konis dan dinding silinder dianggap sebagai *wall* dimana *interface*-nya dengan liquidida didekati dengan *no slip condition*.
2. *Shear stress* pada dinding didekati dengan model *standard wall function*.
3. Poros pengaduk (*shaft*) dianggap sebagai *moving wall*.
4. Permukaan *liquid* didefinisikan simetri, dimana *interface* antara permukaan liquidida dengan udara luar didekati dengan kondisi *no shear* dan dianggap datar.
5. Zona *interface* dibagi menjadi dua, *interface moving* dan *interface stationary*.
6. *Impeller* digambarkan seperti bentuk aslinya, dianggap sebagai *moving wall* dimana *interface*-nya dengan liquidida didekati dengan *no slip condition*.

III.5. Bidang Pengamatan

Bidang yang diamati pada penelitian ini adalah bidang (1) yang merupakan bidang vertikal yang memotong impeller dan tangki konis secara simetri melalui sumbu y-z yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar III.7 Bidang Pengamatan Tangki

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

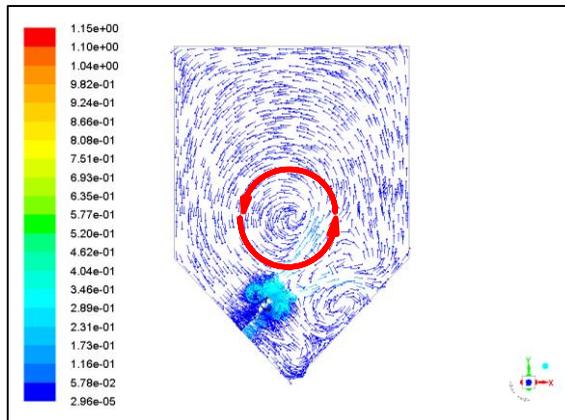
Data yang didapatkan dari penelitian ini diperoleh melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan menggunakan *software* FLUENT 17.1. Simulasi dilakukan dengan metode *transient* menggunakan model k- ϵ dengan jumlah iterasi sebanyak 20 untuk setiap 0,01 *time step*. Analisa dan pembahasan pada bab ini meliputi identifikasi pola alir dan kontur konsentrasi berdasarkan kecepatan serta validasi hasil simulasi dengan hasil eksperimen.

IV.1 Identifikasi Pola Alir

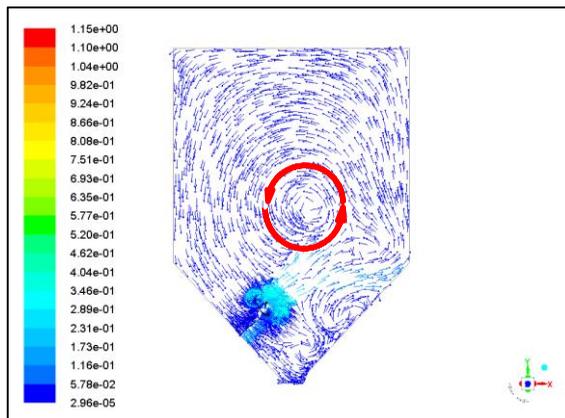
Impeller dapat dikarakterisasikan berdasarkan pola alir yang dihasilkan oleh *impeller* radial dan aksial. Pada penelitian ini digunakan *impeller* tipe aksial yaitu *Propeller*. *Propeller* merupakan *Impeller* yang menghasilkan pola aliran aksial, dengan sirkulasi aliran yang beroperasi secara *pumping up* dan *pumping down* ^[2]. Aliran fluida yang disebabkan oleh *impeller* aksial dalam tangki berpengaduk umumnya diinterpretasikan dengan *loop circulation* model, yaitu aliran keluar menuju dasar tangki kemudian pada bagian dasar fluida menyimpang, aliran fluida kemudian bergerak keatas sepanjang dinding tangki, aliran fluida kemudian bergerak secara radial masuk kearah kembali turun menuju *impeller* menutup sirkulasi *loop*. Namun pada kenyataannya terdapat pola aliran lain yang terbentuk di sekitar *impeller* dimana kemunculan pola aliran tersebut tidak beraturan dan juga tidak stabil. Pola alir tersebut dipengaruhi beberapa faktor antara lain kecepatan putar *impeller*, geometri tangki dan *impeller* serta jenis *impeller*. Pola aliran ini sangat menarik untuk dipelajari karena dengan adanya variasi pola alir yang terjadi, menunjukkan ketidakstabilan dalam suatu pengadukan.

Simulasi ini dilakukan dengan metode *transient*. Untuk identifikasi pola alir ini digunakan variabel kecepatan 275 rpm, 375 rpm, 475 rpm, 700 rpm, 1000 rpm, dan 1300 rpm dan dilakukan

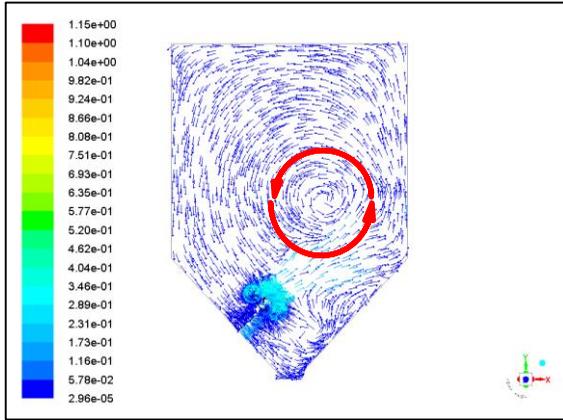
dengan satu fase (*single phase*) menggunakan air sebagai bentuk validasi dari eksperimen yang dilakukan menggunakan air saja sebagai fluida yang berada dalam tangki. Jenis impeller yang sama digunakan dalam penelitian yang dilakukan secara eksperimen.



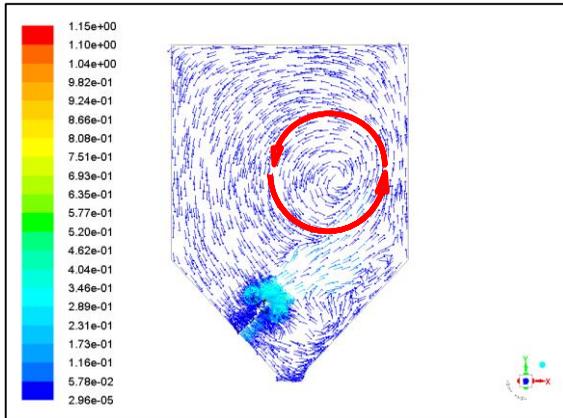
Gambar IV.1 Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.2 Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275 rpm pada Detik ke 6s.



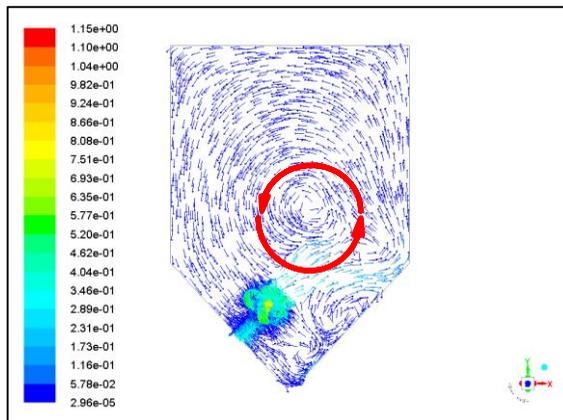
Gambar IV.3 Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275rpm pada Detik ke 8s.



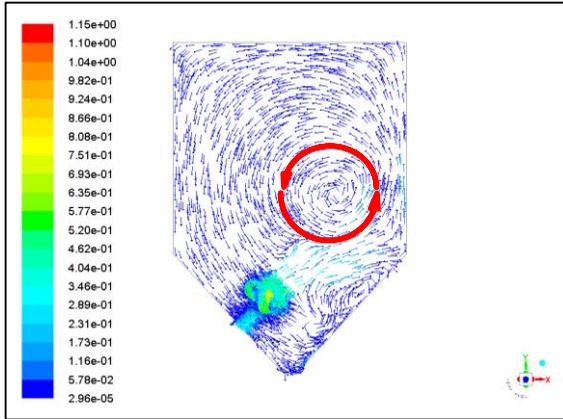
Gambar IV.4 Medan Aliran Liquida Pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 275rpm pada Detik ke 10s.

Gambar IV.1 hingga IV.4 menampilkan *velocity magnitude* dalam bentuk plot vektor pada bidang X-Y untuk sistem yang menggunakan *impeller jenis Propeller* dengan menggunakan

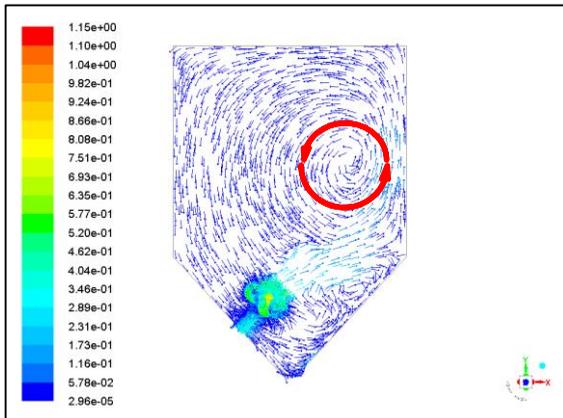
kecepatan putar 275 rpm. Dari gambar terlihat bahwa aliran liquida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*. Aliran keluar menuju dinding tangki ke arah aksial positif (ke atas) kemudian pada bagian dinding tangki menyimpang mengubah arahnya bergerak ke bawah menuju *impeller* menutup sirkulasi *loop*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang berbeda pada detik yang berbeda. Pada detik ke-4 pusat *loop circulation* berada pada bagian tengah tangki. Sedangkan untuk detik selanjutnya yaitu detik ke-6 sampai ke-10, letak pusat *loop circulation* bergeser lebih mendekat dengan dinding tangki dan semakin ke atas. Adanya pola alir lain yang terbentuk secara tidak beraturan dan tidak stabil disekitar dinding tangki dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah geometri tangki konis yang memiliki banyak sudut. Pola alir ini mengakibatkan molasses dapat terangkat dan berdifusi dengan air sehingga terjadi proses pencampuran molasses dan air. Pada gambar juga tampak bahwa kecepatan aksial terbesar adalah pada daerah diatas *impeller*.



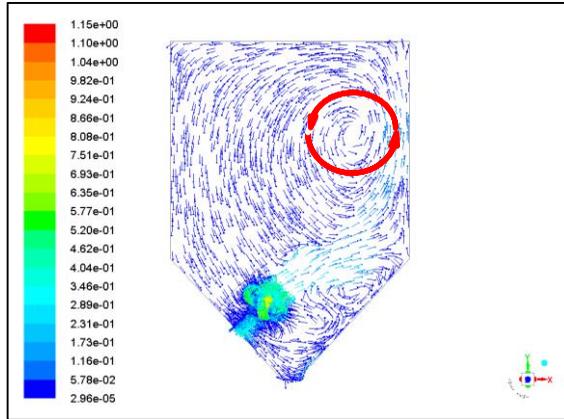
Gambar IV.5 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.6 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375rpm pada Detik ke 6s.

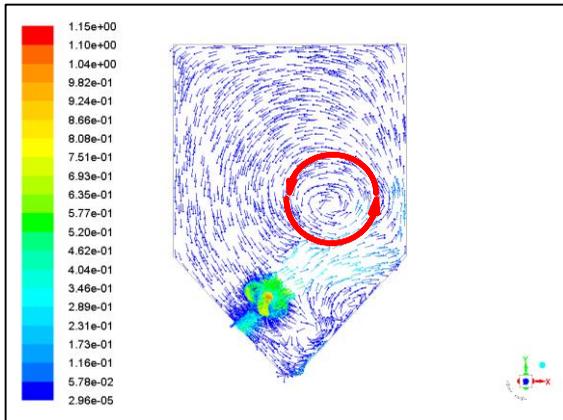


Gambar IV.7 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375rpm pada Detik ke 8s.

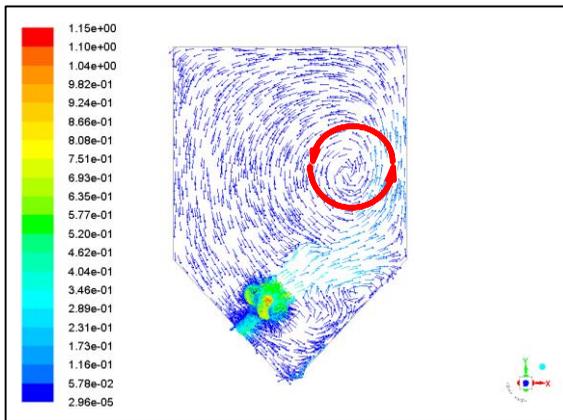


Gambar IV.8 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 375rpm pada Detik ke 10s.

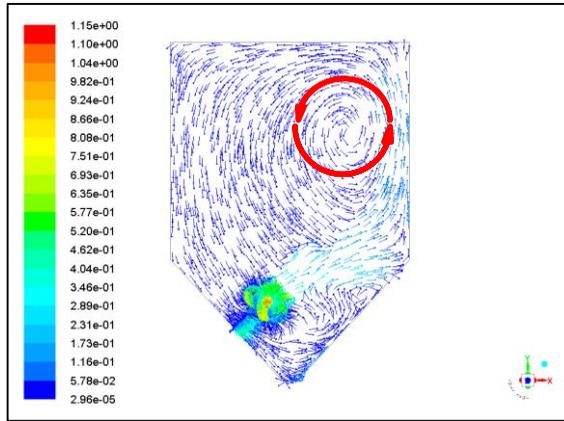
Pada gambar IV.5 hingga IV.8 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 375 rpm. Dimana aliran liquida yang terjadi cenderung sama dengan sistem yang pertama yaitu aliran liquida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*, hanya saja berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang berbeda pada detik yang berbeda. Pada detik ke-4 pusat *loop circulation* berada pada bagian tengah tangki, sedangkan untuk detik selanjutnya bergeser lebih mendekat dengan dinding tangki dan semakin ke atas.



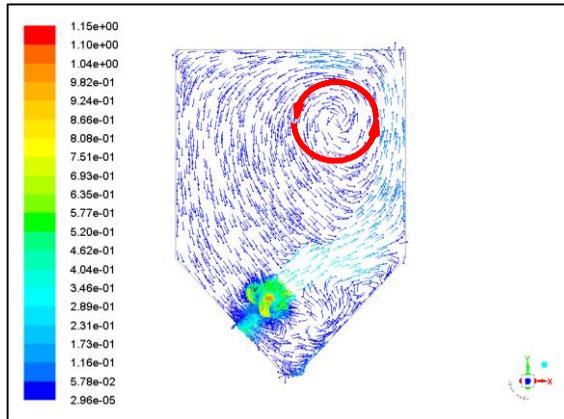
Gambar IV.9 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.10 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475rpm pada Detik ke 6s.



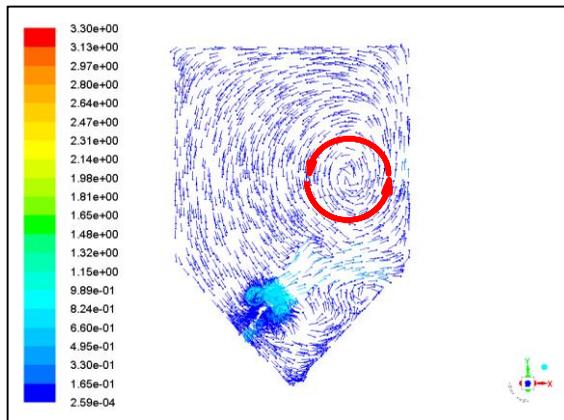
Gambar IV.11 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475rpm pada Detik ke 8s.



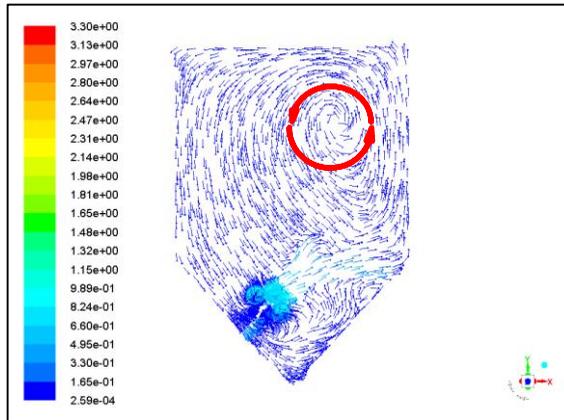
Gambar IV.12 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 475rpm pada Detik ke 10s.

Pada gambar IV.9 hingga IV.12 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 475 rpm. Dimana

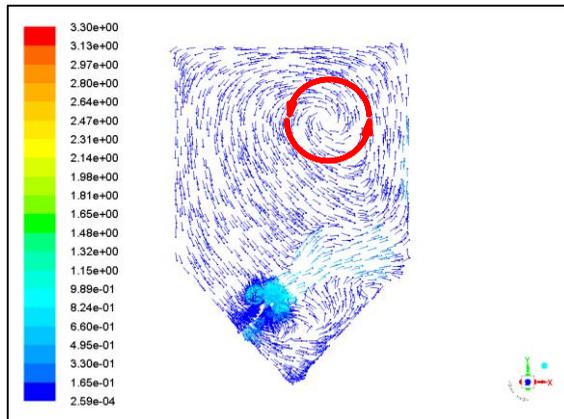
aliran liquidida yang terjadi cenderung sama dengan sistem yang sebelumnya yaitu aliran liquidida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*, hanya saja berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang berbeda pada detik yang berbeda pula. Pada detik ke-4 pusat *loop circulation* berada pada bagian tengah tangki dekat dengan dinding, sedangkan untuk detik selanjutnya bergeser lebih mendekat dengan dinding tangki dan semakin ke atas mendekati permukaan liquid.



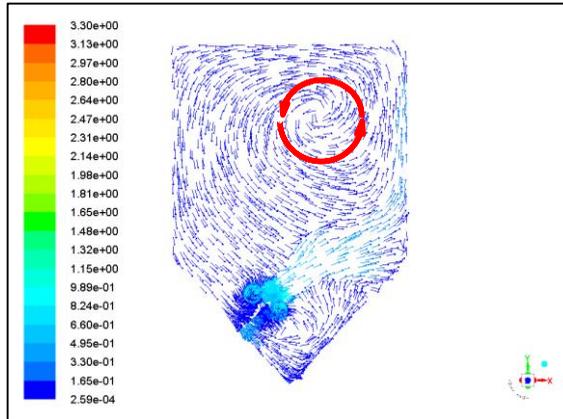
Gambar IV.13 Medan Aliran Liquidida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.14 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 6s.

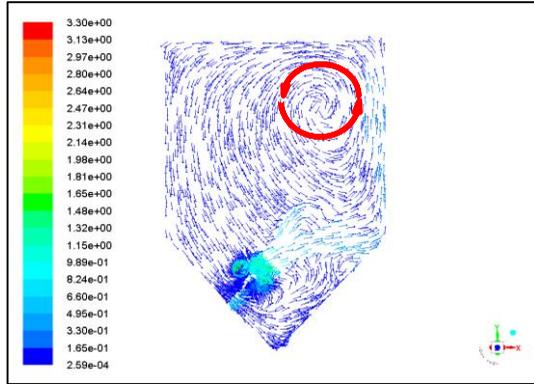


Gambar IV.15 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 8s.

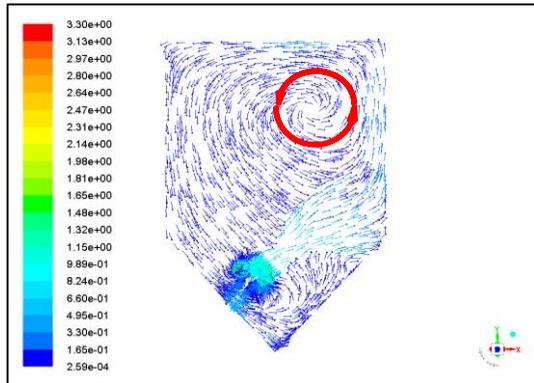


Gambar IV.16 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 700 rpm pada Detik ke 10s.

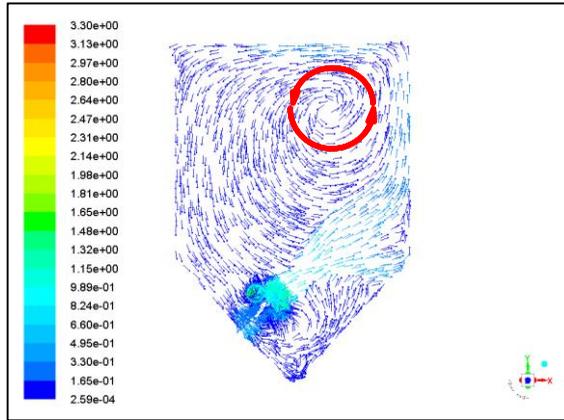
Pada gambar IV.13 hingga IV.16 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 700 rpm. Dimana aliran liquida yang terjadi cenderung sama dengan sistem yang sebelumnya yaitu aliran liquida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*, hanya saja berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang hampir sama pada setiap detik. Dimana pada awalnya yaitu detik ke-4 pusat *loop* berada pada bagian tengah sebelah kanan namun setelah bertambahnya waktu pusat *loop* bergeser ke bagian atas sebelah kanan.



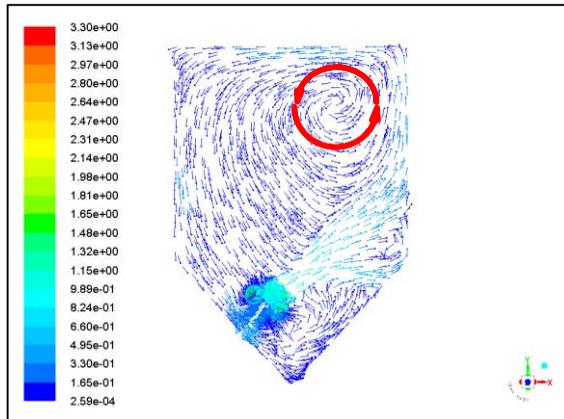
Gambar IV.17 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000 rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.18 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000rpm pada Detik ke 6s.



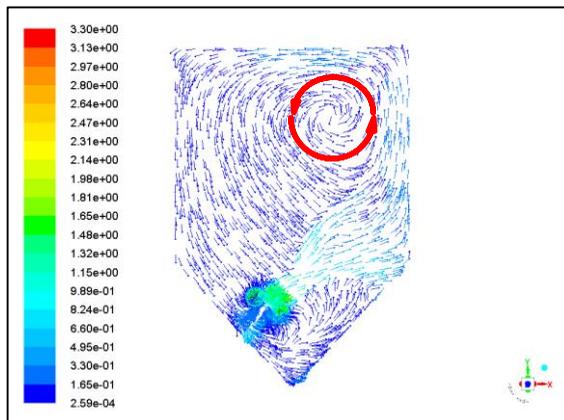
Gambar IV.19 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000rpm pada Detik ke 8s.



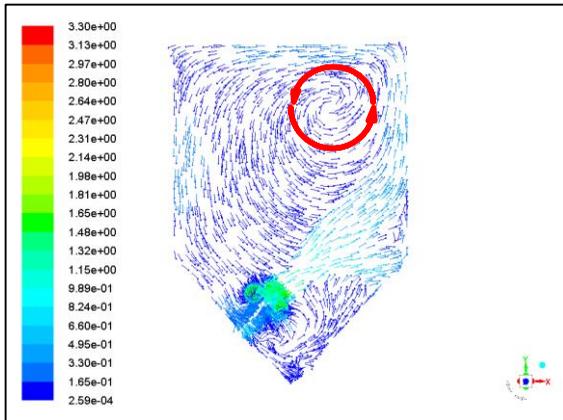
Gambar IV.20 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1000rpm pada Detik ke 10s.

Pada gambar IV.17 hingga IV.20 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 1000 rpm. Dimana

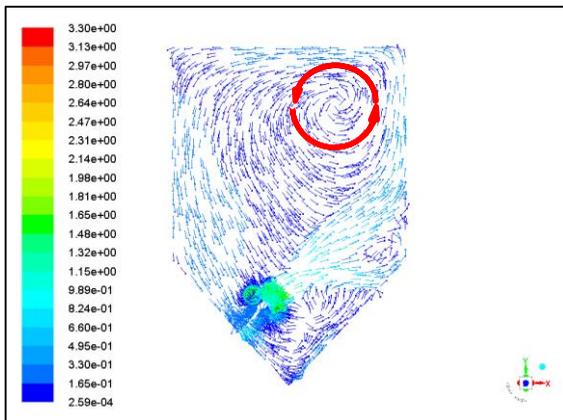
aliran liquidida yang terjadi cenderung sama dengan sistem yang sebelumnya yaitu aliran liquidida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*, hanya saja berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang hampir sama pada setiap detik. Dimana pada keseluruhan waktu pusat *loop* berada pada bagian kanan atas.



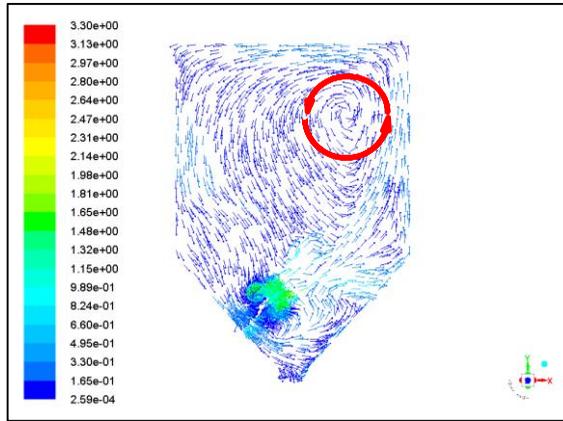
Gambar IV.21 Medan Aliran Liquidida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300rpm pada Detik ke 4s.



Gambar IV.22 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300rpm pada Detik ke 6s.



Gambar IV.23 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300rpm pada Detik ke 8s.



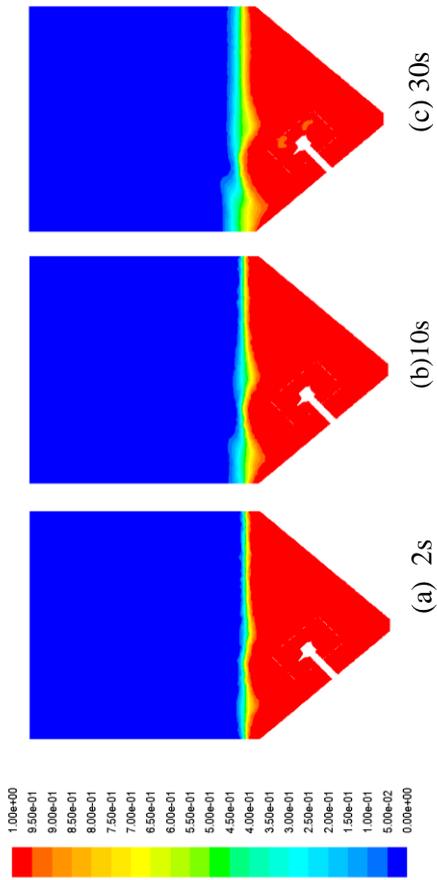
Gambar IV.24 Medan Aliran Liquida pada Bidang X-Y dengan Kecepatan 1300rpm pada Detik ke 10s.

Pada gambar IV.21 hingga IV.24 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 1300 rpm. Dimana aliran liquida yang terjadi cenderung sama dengan sistem yang sebelumnya yaitu aliran liquida meninggalkan *impeller* dengan arah aksial membentuk *one loop circulation*, hanya saja berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*. Pada gambar di atas juga menunjukkan pusat *loop circulation* yang terbentuk memiliki letak yang hampir sama pada setiap detik. Pusat *loop* berada di bagian atas tangki sebelah kanan.

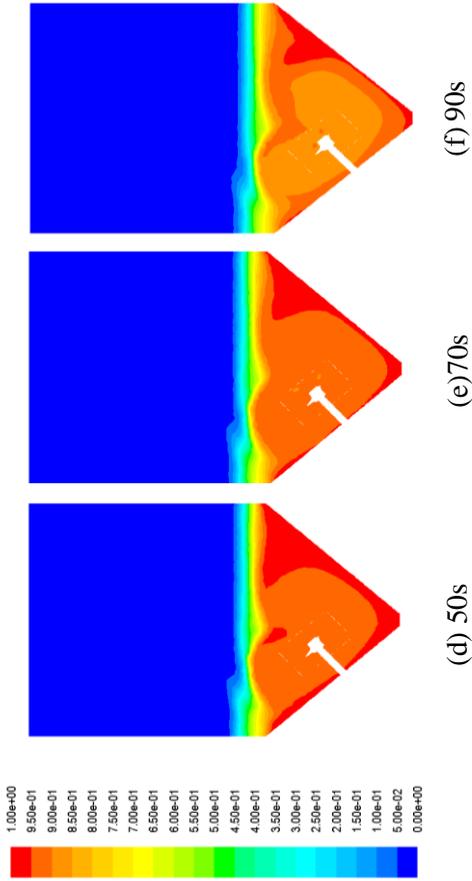
IV.2 Kontur Konsentrasi

Kontur konsentrasi selama proses pengadukan terlihat pada gambar IV.25-IV.30 yang menunjukkan kontur konsentrasi untuk sistem yang telah dipelajari sebelumnya. Molasses mengisi bagian dasar tangki konis. Hal ini dikarenakan densitas molasses yang lebih besar dari air.

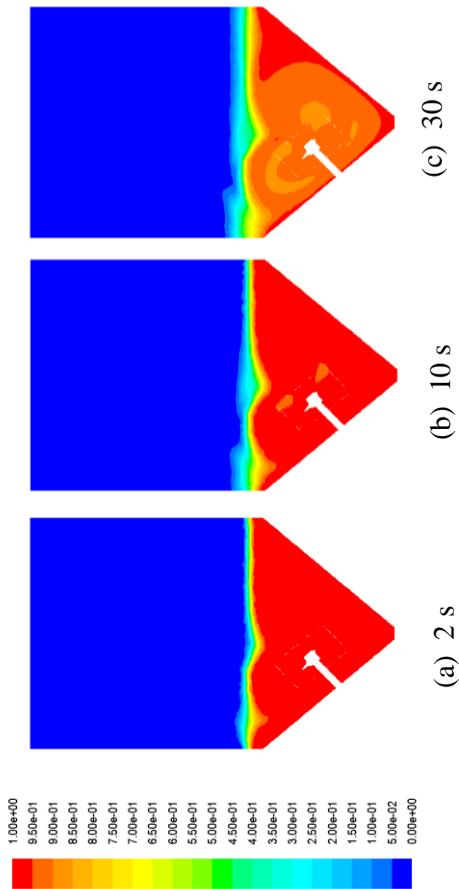
Dari gambar IV.25 hingga IV.30 terlihat bahwa konsentrasi terbesar berada dibagian tangki konis. Kemudian setelah proses pengadukan dimulai, terlihat bahwa terjadi perubahan profil konsentrasi pada bagian tangki konis yang berisi molasses. Peristiwa ini menunjukkan bahwa proses pencampuran telah terjadi.



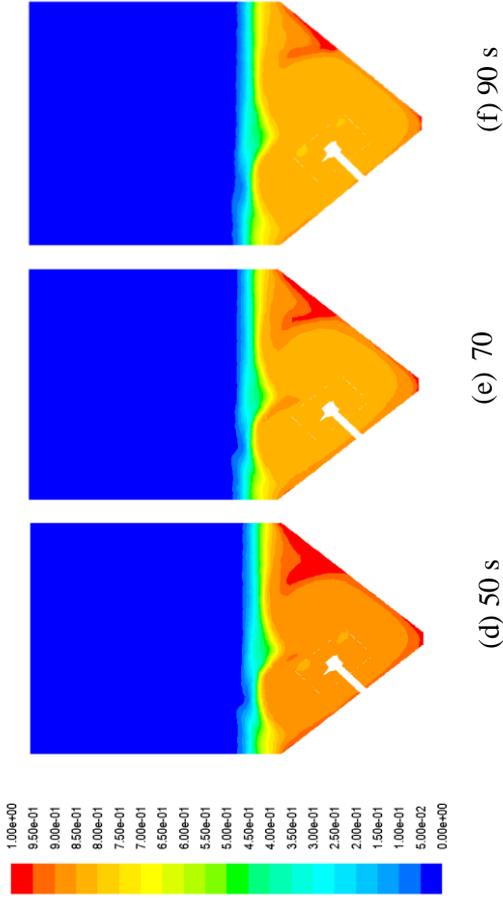
Gambar IV.25 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Bejenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 700 rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s



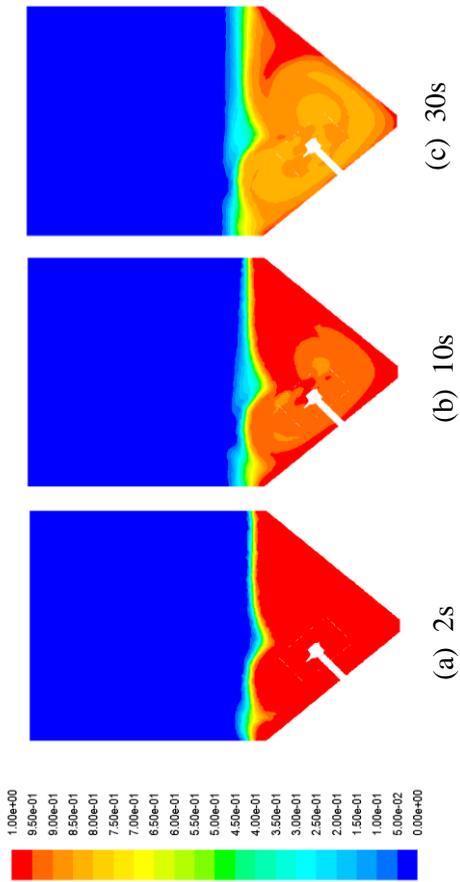
Gambar IV.26 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Komis dengan *Impeller* Berjenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 700rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s



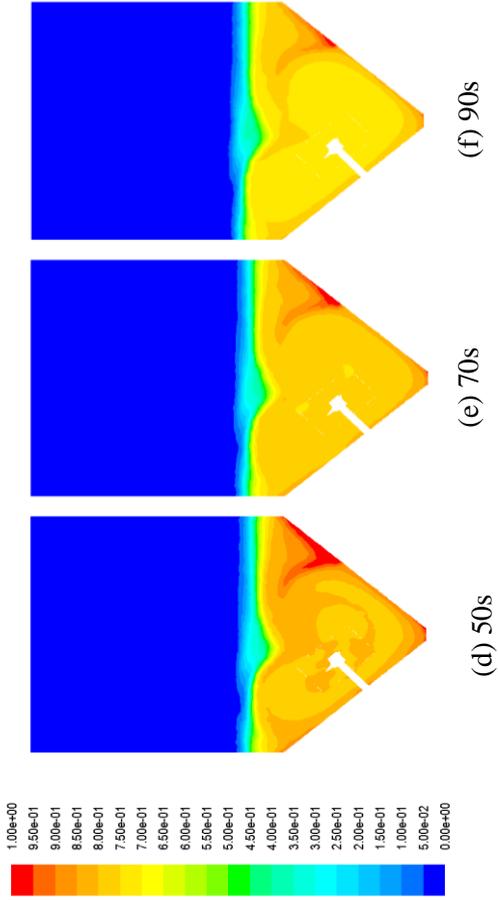
Gambar IV.27 Kontur Konsentrasi Molasses-Air di dalam Tangki dengan *Impeller* Berjenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 1000rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s



Gambar IV.28 Kontur Konsentrasi Molasses-Air di dalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 1000rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s



Gambar IV.29 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 2s ; 10s dan 30s



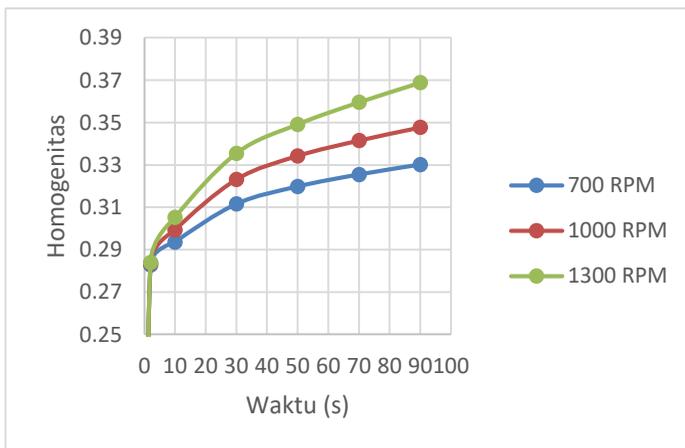
Gambar IV.30 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis *Propeller* dengan Kecepatan Putar 1300rpm

pada Waktu Pencampuran Detik ke 50s ; 70s dan 90s

Setelah sistem berjalan, secara umum dari seluruh kecepatan mengalami perubahan nilai fraksi volume molasses. Perubahan ini dapat dilihat dengan terjadinya perubahan warna pada sistem. Dimana seluruh gambar pada detik ke-2 menunjukkan bahwa bagian dari molasses berwarna merah yang apabila dilihat pada skala warna menunjukkan nilai fraksi volume sebesar 1. Namun apabila sistem telah berjalan maka terjadi perubahan warna pada bagian molasses ini, seperti yang terdapat dalam gambar IV.30 detik ke-90 daerah yang semula berwarna merah berubah menjadi kuning dimana apabila dilihat pada indeks warnanya menunjukkan nilai sebesar 0,7. Nilai inilah yang menunjukkan sudah terjadinya proses pencampuran antara molasses dengan air.

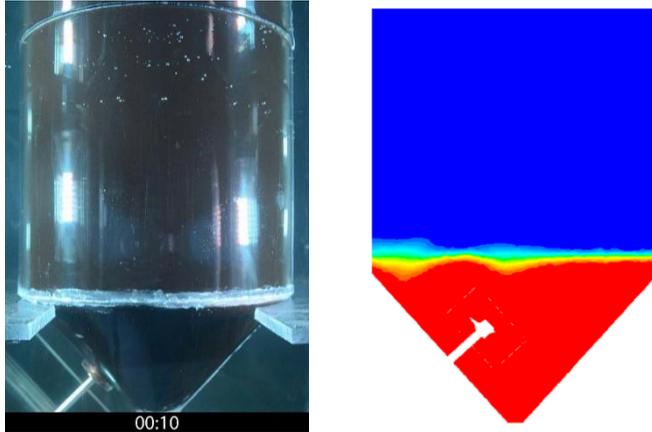
Perbedaan kecepatan putar *impeller* juga turut mempengaruhi proses pencampuran di dalam tangki. Dapat dilihat pada ketiga gambar diatas khususnya pada detik ke-2 menunjukkan dengan jelas perbedaan antara daerah yang berisi air dengan daerah yang berisi molasses. Namun setelah dilakukan proses pencampuran ternyata ketiga gambar diatas menunjukkan perbedaan hasil dimana untuk kecepatan putar 700 rpm setelah dijalankan selama 90 detik menghasilkan perubahan nilai fraksi volume molasses menjadi 0,95. Untuk simulasi dengan menggunakan kecepatan 1000 rpm setelah dijalankan selama 90 detik menunjukkan perubahan fraksi volume molasses menjadi 0,85. Sementara untuk kecepatan putar 1300 rpm setelah dijalankan selama 90 detik menunjukkan perubahan fraksi volume molasses menjadi sebesar 0,7. Selain itu dapat dilihat terjadinya perubahan ketinggian daerah *molasses* yang telah bercampur dengan air untuk masing masing kecepatan. Dimana pada keadaan awal ketinggian *molasses* adalah 0,158 m. Setelah 90 detik dengan kecepatan putar 700 rpm didapati ketinggian berubah menjadi 0,1809 m, sedangkan untuk kecepatan 1000 rpm dan 1300 rpm didapati perubahan ketinggian menjadi 0,1877 m dan 0,193 m. Dari ketiga hasil ini diketahui bahwa semakin cepat putaran *impeller* maka akan semakin cepat pula proses pencampuran terjadi.

Hal ini juga ditunjukkan dengan grafik dibawah ini yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putar *impeller* dengan nilai homogenitas. Homogenitas merupakan suatu nilai yang menggambarkan distribusi konsentrasi atau biasa diartikan sebagai keseragaman dalam suatu area tertentu. Nilai homogenitas maksimal adalah 1 dimana hal tersebut menyatakan bahwa konsentrasi sudah seragam atau homogen. Pada penelitian ini nilai indeks homogenitas antara larutan molasses dan air diperoleh dari data hasil simulasi FLUENT. Pengambilan data nilai homogenitas dilakukan pada *plane* pengamatan yang telah dibuat sebelumnya. Dari grafik tersebut tampak bahwa pada saat 0 detik nilai indeks homogenitasnya sama dengan 0. Kemudian semakin lama pengadukan maka nilai homogenitas tersebut semakin naik. Pada detik ke 90 untuk variabel kecepatan putar 700 rpm mencapai nilai homogenitas sebesar 0,33015, untuk variabel kecepatan putar 1000 rpm mencapai nilai homogenitas sebesar 0,34764, dan untuk variabel kecepatan putar 1300 rpm mencapai nilai homogenitas sebesar 0,36875.

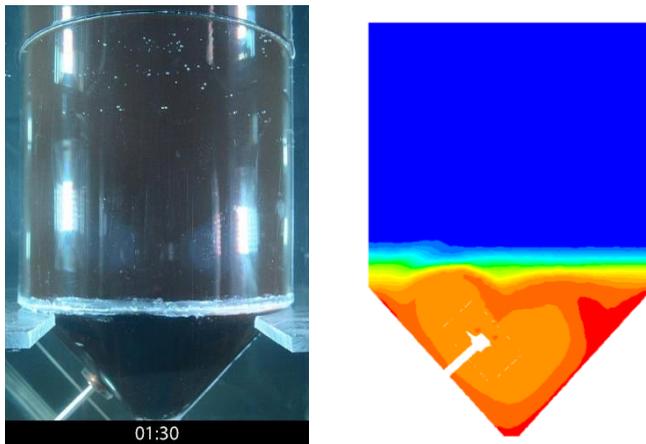


Gambar IV.31 Grafik Perbandingan Waktu dan Homogenitas pada Tiap Kecepatan

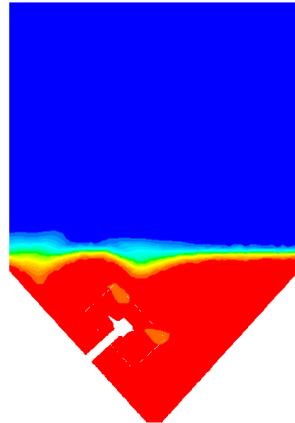
Selanjutnya dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen sebagai berikut.



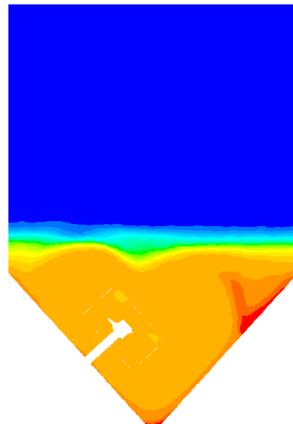
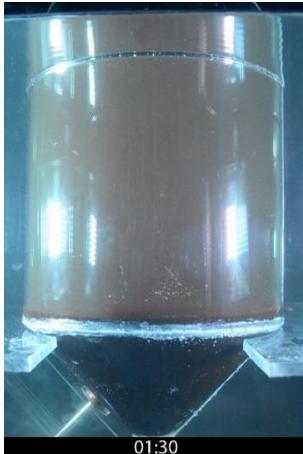
Gambar IV.32 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 700 rpm



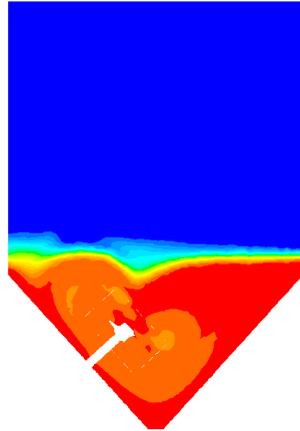
Gambar IV.33 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 700 rpm



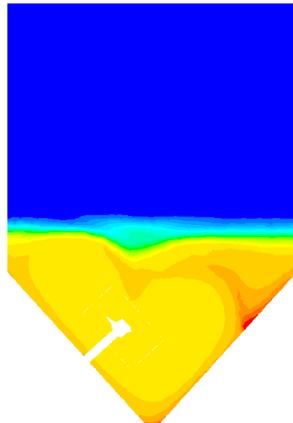
Gambar IV.34 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 1000 rpm



Gambar IV.35 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 1000 rpm



Gambar IV.36 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-10 dengan Kecepatan 1300 rpm



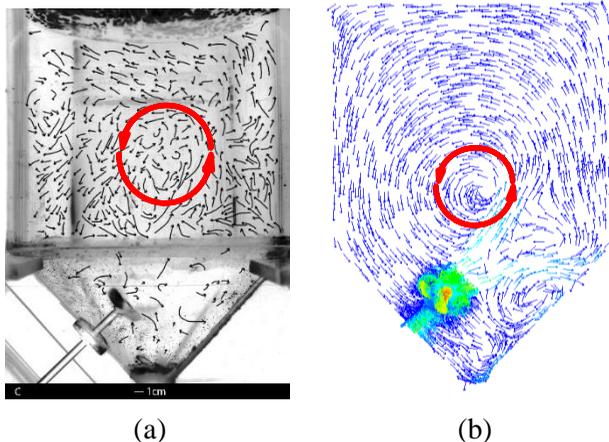
Gambar IV.37 Perbandingan Kontur Konsentrasi pada Detik ke-90 dengan Kecepatan 1300 rpm

Dari keenam gambar diatas diketahui bahwa dari detik ke – 10 hingga detik ke-90 data hasil eksperimen memang tidak menunjukkan perubahan kontur konsentrasi yang disebabkan beberapa faktor. Faktor yang pertama adalah tidak terlihatnya pergerakan molasses karena kondisi air yang telah berdifusi dengan molasses menyebabkan air menjadi keruh. Faktor yang kedua adalah pengambilan gambar eksperimen dilakukan dari luar tangki sehingga kondisi dalam tangki tidak dapat diamati karena kondisi air yang keruh, sementara pada simulasi bidang pengamatan yang dibuat memotong bagian tangki yang sejajar dengan *propeller* sehingga perubahan-perubahan yang terjadi di dalam tangki setiap waktu dapat diamati.

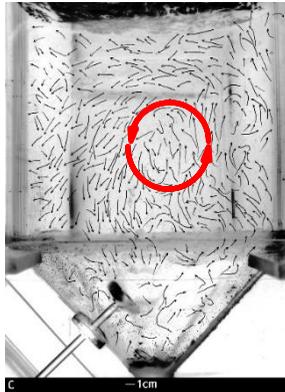
IV.3 Validasi Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen

IV.3.1 Validasi Pola Alir

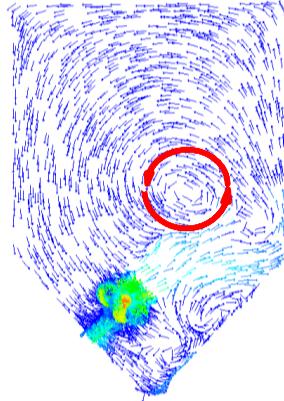
Untuk proses validasi data, dilakukan perbandingan pola alir antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Variabel yang dibandingkan yakni kecepatan putar 275 rpm, 375 rpm, 475 rpm, 700 rpm, 1000 rpm dan 1300 rpm.



Gambar IV.38 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 275 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 275 rpm.

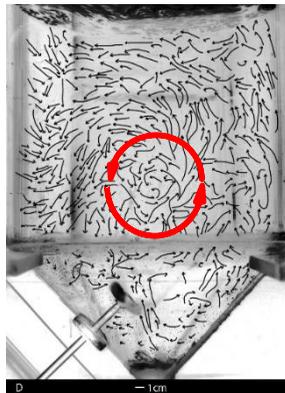


(a)

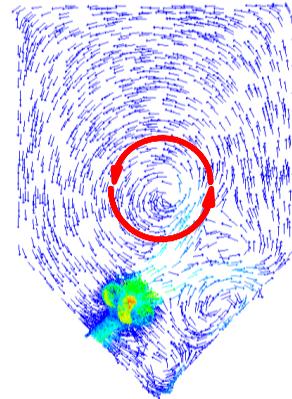


(b)

Gambar IV.39 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 375 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 375 rpm.

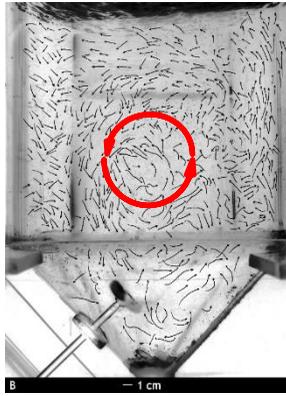


(a)

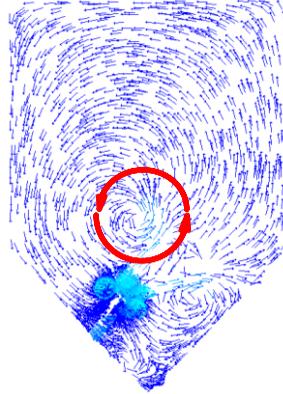


(b)

Gambar IV.40 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 475 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 475 rpm.

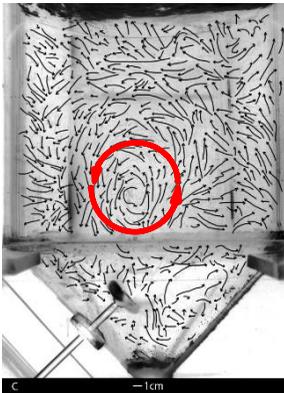


(a)

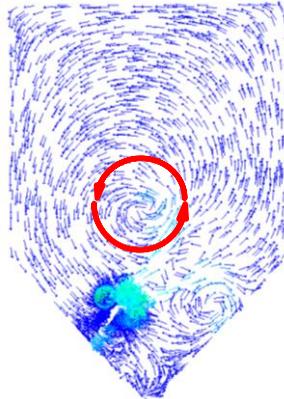


(b)

Gambar IV.41 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 700 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 700 rpm.

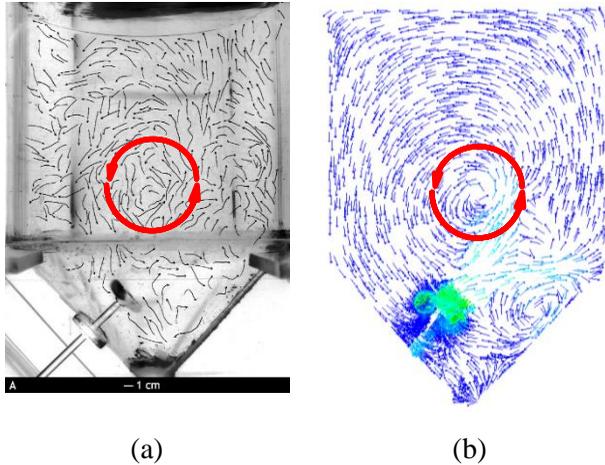


(a)



(b)

Gambar IV.42 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 1000 rpm
b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 1000 rpm.



Gambar IV.43 a) Pola Alir Hasil Eksperimen dengan Kecepatan 1300 rpm b) Pola Alir Hasil Simulasi dengan Kecepatan 1300 rpm.

Dengan melakukan pengamatan terhadap hasil simulasi dan eksperimen, pola alir yang dihasilkan memiliki kecenderungan yang sama. Secara umum pola alir membentuk *one loop circulation*, yang mana aliran keluaran discharge impeller bergerak menuju dinding tangki membentuk aliran aksial positif kemudian bersirkulasi naik ke atas. Aliran yang naik ke atas kemudian bergerak menyamping ke arah dinding tangki lain kemudian berbelok ke bawah menuju daerah impeller untuk menutup *loop circulation*. Meskipun demikian, ada beberapa pola aliran yang menunjukkan ketidakteraturan khususnya pada daerah di bagian dasar tangki konis. Sebagian pola alir yang lain ada yang segera berbelok setelah menabrak dinding dan menuju bagian tengah tangki, lalu tidak kembali ke daerah impeller tetapi langsung bersirkulasi kembali.

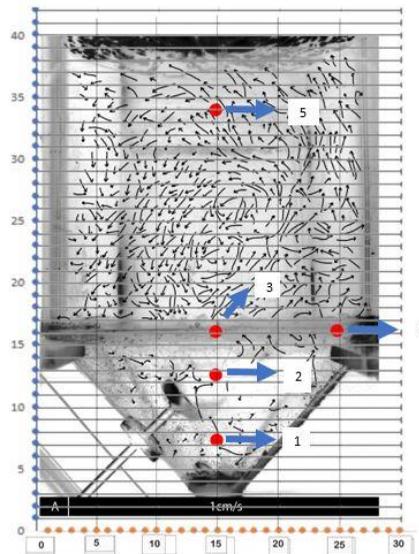
Secara umum, pola alir yang ditunjukkan hasil simulasi dan eksperimen adalah sama. Hanya saja ada bagian yang menunjukkan sedikit perbedaan, diantaranya pada kecepatan 275

rpm 375 rpm dan 700 rpm letak pusat *loop circulation* agak berbeda. Hasil eksperimen menunjukkan letak *loop circulation* lebih ke atas.

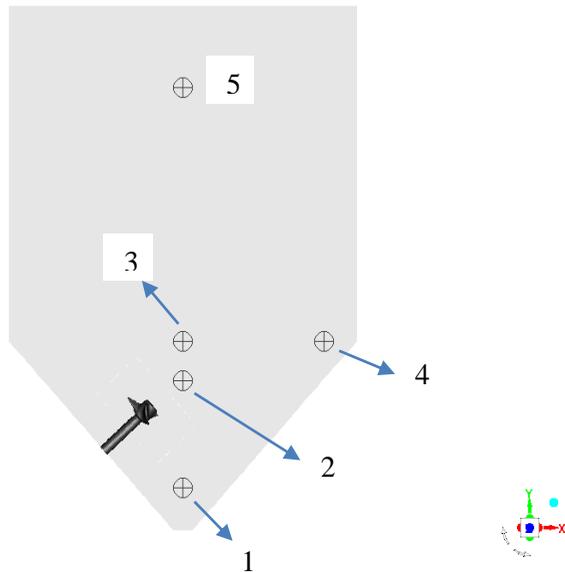
IV.3.2 Kecepatan Lokal

Pengukuran kecepatan lokal ini penting untuk dilakukan baik untuk proses simulasi maupun proses eksperimen. Kecepatan dalam tangki mempengaruhi pola alir yang terjadi.

Titik pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 5 titik. Kecepatan lokal di tiap titik pada gambar hasil eksperimen dihitung menggunakan *software* ImageJ. Sedangkan untuk mencari kecepatan lokal pada hasil simulasi dilakukan dengan memasukkan koordinat titik pada Fluent sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan sebelumnya pada gambar hasil eksperimen. Kemudian dari hasil *report* simulasi pada FLUENT didapatkan kecepatan pada setiap titik.



Gambar IV.44 Gambar Koordinat Pengamatan Kecepatan Lokal pada Hasil Eksperimen.

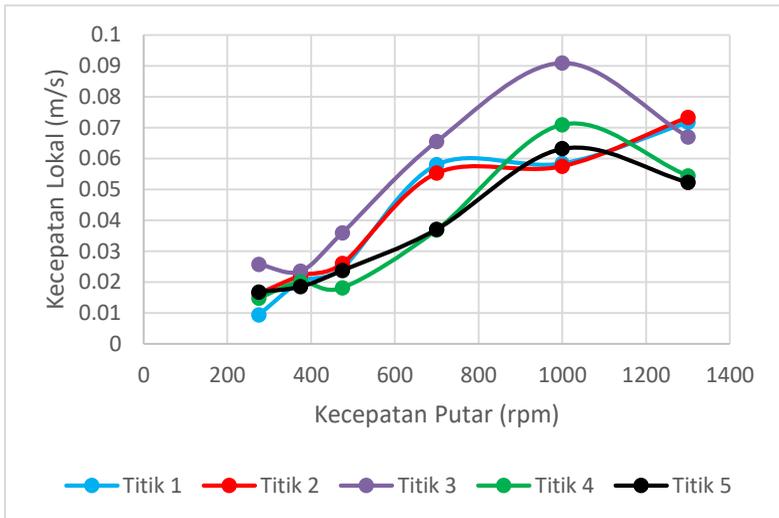


Gambar IV.45 Gambar Koordinat Pengamatan Kecepatan Lokal pada Simulasi.

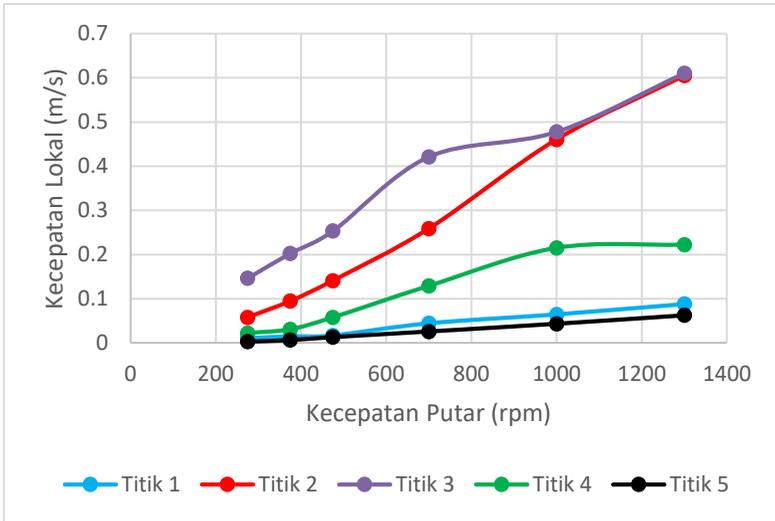
Di bawah ini disajikan data kecepatan hasil simulasi dan eksperimen tiap titik dalam bentuk grafik. Untuk hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar IV.46. Pada titik 1, 2 dan 3 kecepatan lokal cenderung tinggi karena titik ini merupakan titik yang berada di daerah dekat dengan *propeller*, sedangkan kecepatan pada daerah bagian tengah tangki menuju ke dekat permukaan (titik 5) dan daerah dekat dinding (titik 4) cenderung menunjukkan kecepatan yang rendah.

Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada gambar IV.47. Pada titik di daerah bagian dasar tangki (titik 1) memiliki kecepatan yang rendah. Pada titik 2 dan 3 kecepatan local cenderung tinggi karena titik ini merupakan titik yang berada di daerah dekat dengan

propeller, sedangkan kecepatan pada daerah bagian tengah tangki menuju ke dekat permukaan (titik 5) cenderung menunjukkan kecepatan yang rendah. Kecenderungan yang sama, secara umum, juga ditunjukkan oleh data-data kecepatan pada variabel yang lain. Dari grafik juga menunjukkan bahwa semakin cepat kecepatan putar impeller, maka semakin besar kecepatan lokal pada setiap titik.

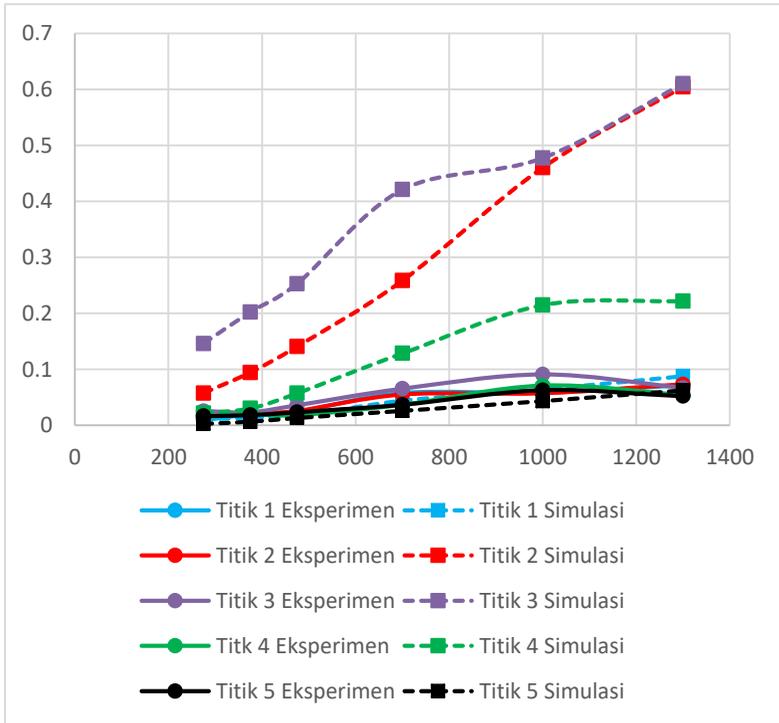


Gambar IV.46 Grafik Kecepatan Lokal pada Hasil Eksperimen



Gambar IV.47 Grafik Kecepatan Lokal pada Hasil Simulasi

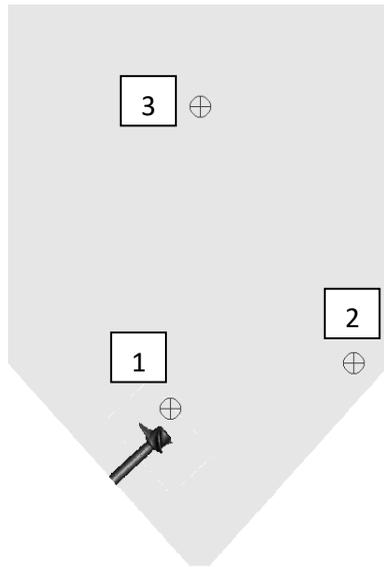
Namun jika dibandingkan nilai kecepatan lokal hasil eksperimen dengan hasil simulasi menunjukkan hasil yang berbeda pada beberapa titik (gambar IV.48). Nilai kecepatan lokal pada titik 2,3, dan 4 menunjukkan perbedaan yang relatif besar antara hasil eksperimen dan simulasi. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu *human error* dalam penentuan kecepatan local dari data hasil eksperimen. Disamping itu, perbedaan kecepatan lokal dapat juga disebabkan karena kesalahan saat melakukan *meshing* pada simulasi.



Gambar IV.48 Grafik Perbandingan Kecepatan Lokal antara Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi

Selain itu, proses simulasi yang memiliki ketelitian yang tinggi menjadi salah satu faktor yang menyebabkan adanya perbedaan kecepatan lokal antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Proses simulasi dapat menghitung kecepatan tiap milidetik, dan menghasilkan kecepatan yang berubah-ubah. Di bawah ini disajikan grafik perubahan kecepatan tiap 10 milidetik untuk melihat fenomena perubahan kecepatan. Untuk penentuan titik digunakan sebanyak 3 sampling titik. Dimana untuk setiap titik tersebut akan dilakukan pengambilan data setiap 10 milidetik

sebanyak 100 data. Berikut adalah letak pengambilan sampling titik yang ditentukan.

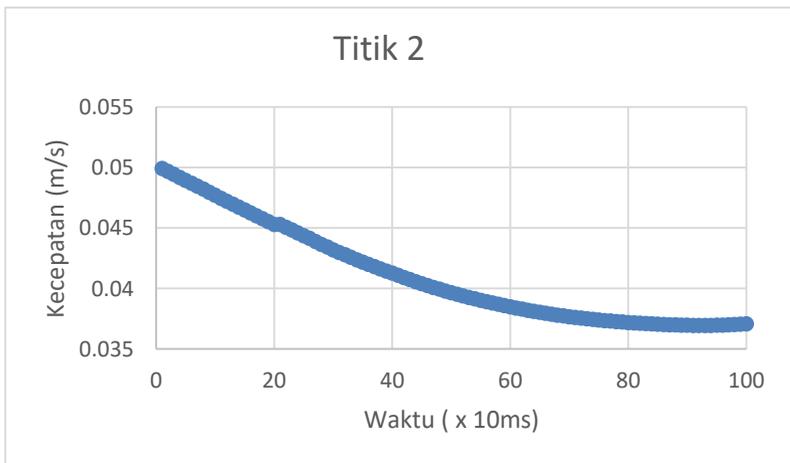
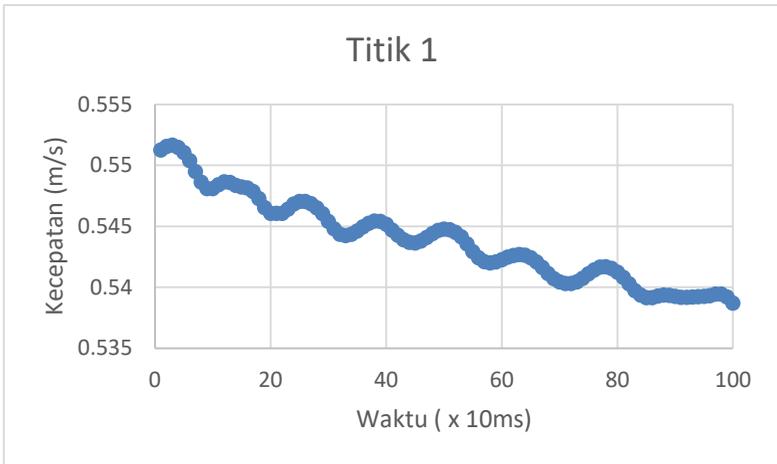


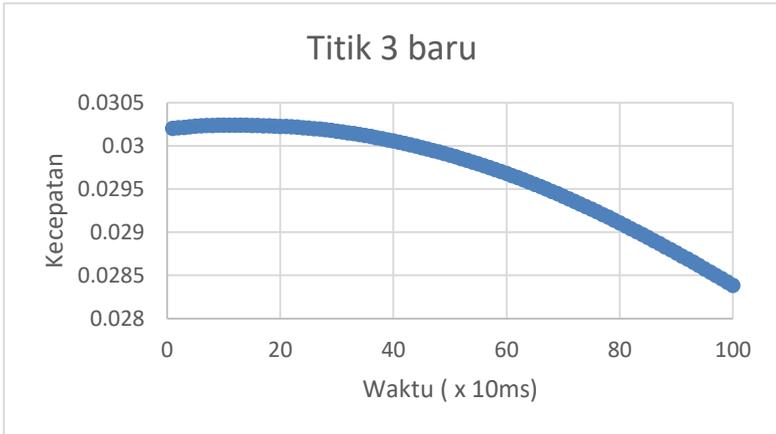
Gambar IV.49 Distribusi Titik untuk Penentuan Perubahan Kecepatan

Setelah dilakukan running dan pengambilan data kecepatan pada titik yang sudah ditentukan didapatkan grafik perubahan kecepatan setiap 10 milidetik pada masing-masing kecepatan. Berikut ini disajikan hasil dari running untuk kecepatan 475 rpm, dimana hasil running ini dianggap dapat menunjukkan perubahan kecepatan tiap 10 milidetik seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.50.

Dari masing-masing grafik dapat dilihat bahwa setiap 10 milidetik ada perubahan kecepatan yang terjadi. Fenomena perubahan kecepatan yang terjadi dalam selang waktu 1 detik ini

juga terlihat berbeda pada setiap titik. Pada titik 1 perubahan kecepatan pada selang waktu tersebut cenderung naik turun. Sementara pada titik 2 dan 3 perubahan kecepatan pada selang waktu tersebut cenderung turun.





Gambar IV.50 Grafik Perubahan Kecepatan Masing-Masing Titik Tiap 10 Milidetik pada Kecepatan Putar 475 rpm

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola aliran yang dihasilkan dari *side entering impeller* dengan *impeller* jenis *propeller* adalah *one loop circulation*, terbentuk pula pola aliran yang tidak stabil disekitar dinding tangki di bagian konis.
2. Semakin cepat kecepatan putar *impeller*, semakin besar kecepatan pada setiap titik dalam tangki. Dimana kecepatan tertinggi terletak pada titik yang berada di depan *impeller*, sedangkan pada daerah bagian tengah dan dasar tangki cenderung rendah.
3. Semakin cepat kecepatan putar *impeller* maka semakin cepat mencapai keadaan yang homogen. Pada detik ke 90, untuk variabel kecepatan putar 700 rpm mencapai nilai homogenitas sebesar 0,3301502, untuk variabel kecepatan putar 1000 rpm sebesar 0,347637 dan untuk variabel kecepatan putar 1300 rpm sebesar 0,35949344
4. Simulasi yang telah dibuat dapat dikatakan realistis untuk menggambarkan proses eksperimen setelah melalui tahap validasi pola alir serta validasi kecepatan lokal.

V.2. Saran

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan , kami mendapatkan hasil yang cukup sesuai dengan teori. Namun untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil lebih baik , maka perlu diperhatikan hal-hal berikut ini :

1. Untuk membandingkan hasil simulasi yang menggunakan permodelan turbulensi dengan k- ϵ standard ini maka sebaiknya diperlukan simulasi dengan permodelan turbulensi lain sebagai perbandingan.
2. Untuk membandingkan hasil simulasi yang menggunakan *impeller* jenis *propeller* ini, maka sebaiknya diperlukan simulasi dengan jenis *impeller* lain sebagai perbandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Altway , A. , Sugeng Winardi, Heru Setyawan, Widiyastuti, Tantular Nurtono. 2010 . *Buku Ajar Proses Perpindahan* . Surabaya : ITS Press pp.248
- [2]. Anharullah , E. Lutfi S., T.Nurtono, dan S. Winardi. 2013 . *Simulasi Pola Aliran Dalam Tangki Berpengaduk Menggunakan Side Entering Impeller Berbasis CFD* . Surabaya : Jurnal Teknik POMITS
- [3]. Cahyani, Anugrah Budi dan Carolina.2016.*Simulasi Pencampuran Molasses dan Air pada Tangki Konis*. Surabaya: Jurnal Teknik Kimia ITS
- [4]. Dakhel, A. Asghar, Rahimi. M. 2004. *CFD Simulation of Homogenization in Large Scale Crude Oil Storage Tanks*. Journal of Petroleum Science and Engineering 43(3):151-161.
- [5]. Elqotbi, Mohammed dkk.2013.*CFD Modelling of Two-Phase Stirred Bioreaction Systems by Segregated Solution of Euler-Euler Model*. Computer & Chemical Engineering, vol. 48. pp. 113-120.ISSN 0098-1354
- [6]. Geankoplis C. J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. Pearson Education, Inc.
- [7]. Gustiayu Brilliant S. dan Ayu Ratna Sari. *Simulasi Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk Menggunakan Side-Entering Impeller untuk Suspensi Padat-Cair*. Surabaya : Skripsi S1 Teknik Kimia ITS. 2012.
- [8]. Lunden, M., Stenberg, O., and Anderson, B. 1995. *Evaluation of a Method for Measuring Mixing Using Numerical Simulation and Experimental Data*. Chem Eng Comm Vol. 139, pp. 115-136.
- [9]. Madhania, Suci., dkk.2017.*Mixing Behavior of Miscible Liquid-Liquid MultiphaseFlow in Stirred Tank with Different Marine Propeller Installment by*

- Computational Fluid Dynamics Method*. Department of Chemical Engineering.
- [10]. Moilanen, Pasi, dkk.2005.*Modelling Fermenters With CFD*. Helsinki University of Technology, Laboratory of Chemical Engineering.
- [11]. P.J. Cullen, Chris D.Rielly, Nicolas Abatzoglou, dan Rodolfo J.Romanach. 2015. *Pharmaceutical Blending and Mixing*. United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd.
- [12]. Pujaningsih, Retno. 2005. *Teknologi Fermentasi dan Peningkatan Kualitas Pakan*. Semarang: Laboratorium Teknologi Makanan Ternak Fakultas Peternakan UNDIP.
- [13]. Tatterson, Gary B. 1991. *Fluid Mixing and Gas Dispersion in Agitated Tanks*. McCraw-Hill, Inc. pp. 286.
- [14]. Versteeg, H.K., and W Malalasekera. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics 2nd Edition*. Pearson Education Limited.
- [15]. Walas, Stanley M . 1988 . *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.

DAFTAR NOTASI

D	Diameter Tangki	[mm]
N	Kecepatan Putar <i>Impeller</i>	[rpm]
μ	Viskositas <i>Fluida</i>	[kg/m.s]
ε	Dissipation rate	-
P	Densitas <i>Fluida</i>	[kg/m ³]
α/γ	Sudut Propeler Terhadap Sumbu Horizontal	° (derajat)
B	Side Entering <i>Angel</i>	° (derajat)
θ_1	Sudut Antara Konis Tangki Dengan Sumbu X	° (derajat)
θ_2	Sudut Antara Konis Tangki Dengan Poros <i>Impeller</i>	° (derajat)

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPENDIKS

Tabel A. Data Indeks Homogenitas

Detik ke-	700 rpm	1000 rpm	1300 rpm
0,2	0,2827774	0,2834532	0,2838647
10	0,2935519	0,2992624	0,305135
30	0,3115442	0,3230918	0,3354309
50	0,3197905	0,3342035	0,3491389
70	0,3254525	0,3414648	0,3594934

Tabel B. Kecepatan Lokal pada Hasil Eksperimen

Kecepatan Putar Impeller (RPM)	Titik Pengamatan				
	1	2	3	4	5
275	0.0094	0.0163	0.0257	0.0148	0.0168
375	0.0202	0.0221	0.0235	0.02	0.0185
475	0.024603	0.026076	0.035954	0.018148	0.023773
700	0.057975	0.055246	0.065497	0.036891	0.037091
1000	0.058423	0.057469	0.090887	0.070952	0.063169
1300	0.071724	0.073324	0.066983	0.054379	0.052307

Tabel C. Kecepatan Lokal pada Hasil Simulasi

Kecepatan Putar Impeller (RPM)	Titik Pengamatan				
	1	2	3	4	5
275	0.010423	0.057935	0.146434	0.022039	0.002865
375	0.014418	0.094676	0.202669	0.030534	0.006639
475	0.016655	0.141064	0.25321	0.057598	0.013268
700	0.044251	0.25866	0.421205	0.128766	0.02603
1000	0.06454	0.460527	0.477768	0.214977	0.043467
1300	0.088028	0.605076	0.610313	0.222238	0.062619

Tabel D. Nilai Kecepatan Lokal Hasil Simulasi Tiap 10 milidetik pada Masing-Masing Titik dengan Kecepatan 475 rpm

Waktu (x 10ms)	Titik		
	1	2	3
1	0.551234	0.049936	0.030201
2	0.551539	0.04969	0.030207
3	0.551641	0.049442	0.030214
4	0.551466	0.049194	0.03022
5	0.551034	0.048934	0.030228
6	0.550382	0.048705	0.030231
7	0.549481	0.048462	0.030234
8	0.548595	0.048215	0.030236
9	0.548081	0.047966	0.030237
10	0.548077	0.047717	0.030238
11	0.548388	0.047469	0.030239
12	0.548641	0.047223	0.030239
13	0.548586	0.046978	0.030238
14	0.548348	0.046734	0.030237
15	0.548203	0.046491	0.030235
16	0.548123	0.04625	0.030233
17	0.54785	0.04601	0.030231
18	0.547266	0.045772	0.030229
19	0.546534	0.045536	0.030226
20	0.546055	0.045301	0.030223
21	0.546055	0.045301	0.030223
22	0.546052	0.045069	0.030219
23	0.546399	0.044839	0.030214
24	0.546803	0.04461	0.03021

25	0.547023	0.04438	0.030205
26	0.547013	0.044147	0.030199
27	0.546837	0.043901	0.030192
28	0.546511	0.043661	0.030185
29	0.546012	0.04343	0.030177
30	0.545391	0.043211	0.030169
31	0.544779	0.043	0.03016
32	0.544348	0.042794	0.03015
33	0.54422	0.042591	0.03014
34	0.544336	0.042391	0.030129
35	0.544605	0.042195	0.030118
36	0.544935	0.042005	0.030106
37	0.54523	0.041819	0.030094
38	0.545407	0.041636	0.030081
39	0.545392	0.041456	0.030068
40	0.545142	0.041277	0.030054
41	0.544691	0.041099	0.03004
42	0.544243	0.040924	0.030026
43	0.543887	0.040751	0.030011
44	0.54367	0.040581	0.029995
45	0.543633	0.040416	0.029979
46	0.543782	0.040255	0.029962
47	0.544068	0.040099	0.029945
48	0.544399	0.039949	0.029928
49	0.544652	0.039804	0.02991
50	0.544756	0.039665	0.029891
51	0.544694	0.03953	0.029871
52	0.544501	0.0394	0.029852
53	0.544123	0.039274	0.029831

54	0.543555	0.039151	0.02981
55	0.542917	0.039033	0.029789
56	0.542406	0.038918	0.029768
57	0.542091	0.038807	0.029746
58	0.54199	0.038699	0.029724
59	0.542074	0.038595	0.029701
60	0.542259	0.038494	0.029678
61	0.542456	0.038396	0.029654
62	0.542603	0.038302	0.02963
63	0.542667	0.038211	0.029605
64	0.542616	0.038124	0.02958
65	0.542418	0.038041	0.029553
66	0.542071	0.037961	0.029527
67	0.541617	0.037885	0.0295
68	0.54113	0.037813	0.029472
69	0.540706	0.037745	0.029444
70	0.540421	0.037679	0.029415
71	0.54029	0.037618	0.029386
72	0.540294	0.03756	0.029357
73	0.540428	0.037506	0.029327
74	0.540723	0.037454	0.029296
75	0.541096	0.037406	0.029265
76	0.541415	0.03736	0.029234
77	0.541633	0.037317	0.029203
78	0.541677	0.037277	0.029171
79	0.541533	0.037239	0.029139
80	0.541234	0.037203	0.029106
81	0.540791	0.037171	0.029073
82	0.540262	0.03714	0.02904

83	0.539734	0.037112	0.029006
84	0.539341	0.037086	0.028972
85	0.539147	0.037062	0.028937
86	0.539152	0.037039	0.028902
87	0.539276	0.037019	0.028867
88	0.539341	0.037002	0.028831
89	0.539317	0.036987	0.028796
90	0.539243	0.036975	0.02876
91	0.539178	0.036966	0.028723
92	0.53917	0.03696	0.028686
93	0.539198	0.036959	0.028649
94	0.53922	0.036962	0.028612
95	0.539241	0.036969	0.028574
96	0.539309	0.036982	0.028536
97	0.539422	0.037001	0.028498
98	0.539432	0.037025	0.02846
99	0.539184	0.037056	0.028421
100	0.538692	0.037094	0.028382

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Aprilian Agung Krisunarya, anak sulung dari dua bersaudara pasangan Bapak Paulus Sunardi dan Ibu Sisilia Retno Sri Rahayu ini lahir di Jember pada tanggal 5 April 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Jember Lor 1 (2002-2008) , SMPN 2 Jember (2008-2010) dan SMAN 1 Jember (2010-2013). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan strata-1 (S1) dan mendapatkan gelar sarjananya di Jurusan

Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri , Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis pernah aktif mengikuti dalam program kreativitas mahasiswa gagasan tertulis (PKM-GT) yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2016 serta turut aktif mengikuti dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS dan menjabat sebagai *Section Head of Competency Development Department HIMATEKK FTI-ITS* pada tahun 2015-2016. Pada tahun 2016, penulis melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Kalimantan Timur , Bontang. Penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk melakukan penelitiannya dan menyelesaikan Pra Desain Pabrik “CPO dan PKO dari Buah Kelapa Sawit”

DATA PRIBADI PENULIS

Nama	Aprilian Agung Krisunarya
No HP	083854982335
Email	Aprilianagung77@gmail.com

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Federiko Markus Lasardo Nainggolan, anak kedua dari lima bersaudara pasangan Bapak Ekson Nainggolan dan Ibu Frisda Simanjuntak ini lahir di Tebing Tinggi pada tanggal 25 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Santa Maria Tarutung (2000-2006), SMP Santa Maria Tarutung (2006-2009) dan SMA Methodist 1 Medan (2009-2012). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan strata-1 (S1) dan mendapatkan gelar sarjananya di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis pernah aktif dalam acara *Chemical Engineering Festival (Chernival) 2016* sebagai *Head of Indonesian Chemical Engineering Paper Competition Event Section* serta turut aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu BEM Fakultas FTI-ITS sebagai Staf Hubungan Luar pada tahun 2014-2015. Pada tahun 2015, penulis melakukan kerja praktek di Pupuk Kalimantan Timur, Bontang dan mengevaluasi *Heat Exchanger* pada *HP Scrubber* Unit Urea Pabrik 3. Penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk melakukan penelitiannya dan menyelesaikan Pra Desain Pabrik “CPO dan PKO dari Kelapa Sawit”

DATA PRIBADI PENULIS

Nama	Federiko Markus Lasardo Nainggolan
No HP	085372721795
Email	federico.nainggolan@gmail.com

