



SKRIPSI - TK 141581

SIMULASI PENCAMPURAN MOLASSES DAN AIR PADA
TANGKI KONIS

ANUGRAH BUDI CAHYANI
NRP. 2312100077
CAROLINA
NRP. 2312100144

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

JURUSAN TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TK 141581

SIMULATION OF MOLASSES AND WATER MIXTURE IN
CONICAL TANK

ANUGRAH BUDI CAHYANI
NRP. 2312100077
CAROLINA
NRP. 2312100144

Advisor

Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng.

NIP. 197205201997021001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PENCAMPURAN MOLASSES DAN AIR PADA TANGKI KONIS

Diajukan Untuk Memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

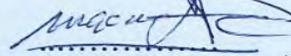
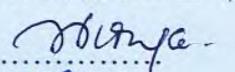
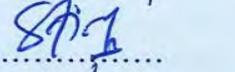
Oleh :

ANUGRAH BUDI CAHYANI
CAROLINA

2312 100 077
2312 100 144

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng.
(Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing II)
3. Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.
(Penguji I)
4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M. Eng.
(Penguji II)
5. Dr. Ir. Susianto, DEA
(Penguji III)


.....

.....

.....

.....

.....



SURABAYA
JULI 2016

SIMULASI PENCAMPURAN MOLASSES DAN AIR PADA TANGKI KONIS

Nama : Anugrah Budi Cahyani (2312100077)
Carolina (2312100144)
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Pembimbing : Dr. Tantular Nurtono S.T, M.Eng
Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakter operasi pengadukan, *mixing time*, dan homogenitas larutan untuk memperoleh kondisi pengadukan dalam fermentor bioetanol. 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. Simulasi dilakukan menggunakan *CFD FLUENT 16.2* 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 *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

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

SIMULATION OF MOLASSES AND WATER MIXTURE IN CONICAL TANK

Name : Anugrah Budi Cahyani (2312100077)
Carolina (2312100144)
Major : Teknik Kimia FTI-ITS
Supervisor : Dr. Tantular Nurtono S.T, M.Eng
Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRACT

The objective for this study is to investigate the mixing operation character, mixing time and solution homogeneity for finding mixing condition in bioethanol fermentor. The study is carried out in a conicle bottomed cylindrical vessel with diameter of 260 mm and molasses height of 130 mm. The type of agitator is marine propeller with diameter of 33 mm. The variable of stirring rotation speed are 1300 rpm and 1600 rpm. This study was done based on simulation with CFD FLUENT 16.2 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.

Based on the simulation that has been done, showed that: Flow patterns in side entering impeller with marine propeller is a loop circulation, unstable flow pattern also formed around the tank wall; the mixing time for 1300rpm rotational speed of impeller is 29,1s whereas the mixing time for 1600rpm rotational speed of impeller is 19,2s with homogeneity index value of 0,9224; In 30s of mixing time, the maximum homogeneity index value is 0,9237 for 1300rpm rotational speed variable and the maximum homogeneity index value is 0,9832 for 1600rpm rotational speed variable.

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

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Proses Pencampuran.....	5
II.2 Jenis Pengaduk.....	7
II.3 Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk.....	9
II.4 Permodelan Aliran Fluida.....	11
II.5 Computational Fluid Dynamics.....	12
II.5.1 Permodelan Multifase.....	14
II.5.2 Model Turbulensi $k-\epsilon$	15
II.5.3 Permodelan Impeller.....	18
II.6 Laju dan Waktu Pencampuran.....	19
II.7 Inhomogenitas.....	21
II.8 Penelitian Terdahulu.....	22

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 Profil Alir	33
IV.2 Kontur Konsentrasi	39
IV.3 Homogenitas dan Waktu Pencampuran	52
IV.4 Pengaruh Kecepatan Putar Impeller Terhadap Waktu Pencampuran	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	55
V.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
APPENDIKS	

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Dimensi Tangki Konis dan <i>Impeller</i>	25
Tabel III.2	Spesifikasi Air yang Digunakan	27
Tabel III.3	Spesifikasi Molasses yang Digunakan	27
Tabel III.4	Hasil statistic <i>meshing</i>	28
Tabel IV.1	Hubungan Antara Waktu Pencampuran dan Kecepatan Putar pada Tangki Konis dengan <i>Impeller Marine Propeller</i>	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Aliran vektor untuk side entering dengan sudut β	6
Gambar II.2	Vektor aliran side entering (a) circular (b) induce by wall	7
Gambar II.3	Bentuk-bentuk pengaduk	9
Gambar II.4	Pola aliran fluida didalam tangki berpengaduk.....	10
Gambar III.1	Gemotri <i>Marine Propeller</i>	26
Gambar III.2	Dimensi Tangki Silinder	26
Gambar III.3	<i>Meshing stationary zone</i>	28
Gambar III.4	<i>Meshing moving zone</i>	29
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 R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 1s	34
Gambar IV.2	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 10s	35
Gambar IV.3	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 23s	35
Gambar IV.4	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 30s	36
Gambar IV.5	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1600rpm pada detik ke 1s	37
Gambar IV.6	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan 1600rpm pada detik ke 10s	37
Gambar IV.7	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y	

	dengan Marine Propeller dengan Kecepatan 1600rpm pada detik ke 20s	38
Gambar IV.8	Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan Marine Propeller dengan Kecepatan 1600rpm pada detik ke 30s..	38
Gambar IV.9	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 0s ; 2s ; 2,5s dan 3,5s	40
Gambar IV.10	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 0s ; 2s ; 2,5s dan 3,5s	41
Gambar IV.11	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 5s ; 6s ; 7,8s dan 7,9s	42
Gambar IV.12	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 5s ; 6s ; 7,8s dan 7,9s	43
Gambar IV.13	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 8s ; 8,5 dan 10s	44
Gambar IV.14	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 8s ; 8,5 dan 10s	45

Gambar IV.15	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 11s ; 12s dan 15s	46
Gambar IV.16	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 11s ; 12s dan 15s	47
Gambar IV.17	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 18s ; 20s dan 23s	48
Gambar IV.18	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 18s ; 20s dan 23s	49
Gambar IV.19	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan <i>Impeller</i> Berjenis <i>Marine Propeller</i> dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 25s ; 27s dan 30s	50
Gambar IV.20	Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 25s ; 27s dan 30s	51
Gambar IV.21	Hubungan Antara Homogenitas dan Waktu pada Tangki Konis dengan Impeller Marine Propeller untuk Kecepatan 1300rpm dan 1600rpm	53

Gambar IV.22 Hubungan Antara Waktu Pencampuran dan Kecepatan Putar pada Tangki Konis dengan *Impeller Marine Propeller* 54

DAFTAR NOTASI

D	Diameter Tangki	[mm]
d	Diameter <i>Impeller</i>	[mm]
H ₁	Tinggi Silinder	[mm]
H ₂	Tinggi Konis	[mm]
H	Tinggi Fluida Dalam Tangki	[mm]
s	Panjang Shaft	[mm]
N	Kecepatan Putar <i>Impeller</i>	[rpm]
μ	Viskositas <i>Fluida</i>	[kg/m.s]
ρ	Densitas <i>Fluida</i>	[kg/m ³]
r	Jari-Jari Silinder	[mm]
α/γ	Sudut Propeler Terhadap Sumbu Horizontal	° (derajat)
β	Side Entering <i>Angel</i>	° (derajat)
k	Energi Kinetik Turbulensi	m ² /s ²
ϵ	Dissipation Rate	m ² /s ³
θ_1	Sudut Antara Konis Tangki Dengan Sumbu X	° (derajat)
θ_2	Sudut Antara Konis Tangki Dengan Poros <i>Impeller</i>	° (derajat)

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Carolina, anak bungsu dari dua bersaudara ini lahir di Jakarta pada tanggal 9 Juli 1995. Penulis yang berdomisili di Bekasi ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Permata Harapan Jakarta Timur (2000-2006) , SMP St Fransiskus II Jakarta Timur (2006-2009) dan SMA St Fransiskus II Jakarta Timur (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 mengikuti dalam program kreativitas mahasiswa bidang kerriwauusahaan (PKM-K) yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2013. Penulis turut aktif mengikuti dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS dan menjabat sebagai *Section Head of Entrepreneurship Development Department* HIMATEKK FTI-ITS pada tahun 2014-2015. Pada tahun 2015, penulis melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Kalimantan Timur , Bontang dan mengevaluasi *Performance Ammonia Converter* pada *Plant* Amoniak Pabrik IA. Penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk melakukan penelitiannya dan menyelesaikan Pra Desain Pabrik “Gula Kristal Putih dari Tebu”

DATA PRIBADI PENULIS

Nama	Carolina
No HP	081315765259
Email	carolinatjahjono@hotmail.com

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

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. [4]

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. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengadukan tangki meliputi kecepatan putar *impeller*, geometri tangka, jenis fluida, sifat fluida, jenis *impeller*, jumlah *impeller*, dan letak atau posisi poros *impeller*. [5]

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. Kelebihan dari *side-entering impeller* pada tangki penyimpanan yang besar adalah tidak dibutuhkannya *overhead support* seperti yang diperlukan untuk pemasangan *top entering mixer, shaft* yang digunakan tidak terlalu panjang, 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.^[8] Oleh karena itu, pencampuran atau pengadukan dengan *side entering impeller* mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produktivitas dan keuntungan.

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. *Side entering impeller mixer* biasanya digunakan untuk tangki yang besar dimana penggunaan *top entering mixer* tidak dapat digunakan karena keterbatasan pemasangan *shaft*.

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.

Pola alir didalam tangki berpengaduk sangat kompleks dan bervariasi terhadap skala waktu, hal ini merupakan fenomena yang menarik untuk diamati didalam tangki berpengaduk. Pola alir yang berubah berkali-kali di dalam tangki pada skala waktu tertentu dengan frekwensi kecil dan periode yang tinggi.

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 menjangrik mikrobia masuk kedalamnya. ^[9]

I.2 Perumusan Masalah

Tidak diketahuinya karakter operasi pengadukan, *mixing time*, dan homogenitas larutan.

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 jenis *impeller marine agitator*.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter operasi pengadukan, *mixing time*, dan homogenitas larutan untuk memperoleh kondisi pengadukan dalam fermentor bioetanol.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang karakteristik pengadukan untuk tangki berpengaduk jenis silinder dengan bagian dasar konis (*conical bottomed cylindrical tank*) menggunakan *side-entering* dibagian konis dengan jenis *impeller marine agitator* baik skala laboratorium maupun skala industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Proses pencampuran

Proses pencampuran (*mixing*) sering digunakan karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan panas. Untuk melakukan proses pencampuran maka digunakan tangki pengaduk. Tangki pengaduk secara umum terdiri dari *impeller* yang terhubung dengan shaft sebagai penggeraknya, dan dilengkapi dengan *baffle*. 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.

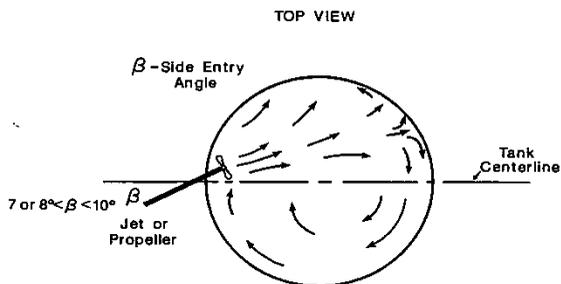
Faktor-faktor yang mempengaruhi pencampuran adalah:

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

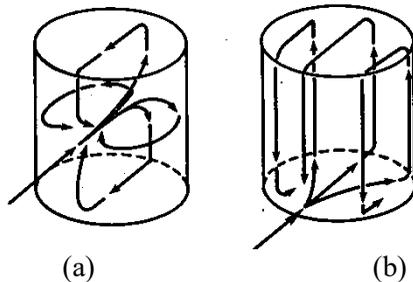
Side Entering adalah *mixer* yang masuk ke tangki atau *vessel* dari sisi samping. *Side entering* digunakan untuk tangki yang besar karena alirannya dapat mencapai semua bagian dari tangki. Contohnya *mixer* untuk mencampur isi tangki harus dipasang dibawah level zat cair. Akibatnya *mixer* sering dipasang dekat dengan bagian bawah untuk menjamin pencampuran dari isi tangki bahkan sampai di level liquida paling rendah. Pada *side entering mixer* ada elemen fisik dalam tangki yang memaksa isi naik dan turun kembali, ini yang menunjukkan kerja dari pencampuran itu sendiri, homogenitas dan keseragaman temperatur.

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*.

Untuk *side entering*, vektor aliran dapat dilihat seperti yang ada pada gambar II.1 dibawah. ^[12]



Gambar II.1. Aliran vektor untuk *side entering* dengan sudut β .



Gambar II.2. Vektor aliran *side entering* (a) *circular* (b) *induce by wall*.

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. ^[13]

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. ^[4]

Menurut bentuknya, pengaduk dapat dibagi menjadi 3 golongan:

1. *Propeller*

Kelompok ini biasa digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi dengan arah aliran aksial. 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.

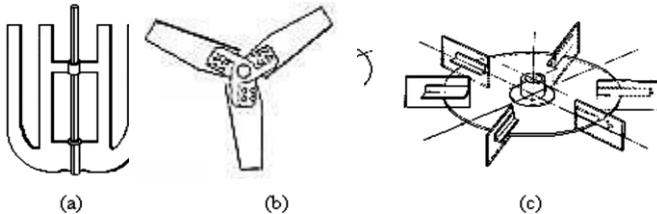
2. *Turbine*

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 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. Salah satu jenis pengaduk *turbine* adalah *pitched blade*. Pengaduk jenis ini memiliki sudut sudu konstan. Aliran terjadi pada arah aksial, meski demikian

terdapat pola 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. 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° .

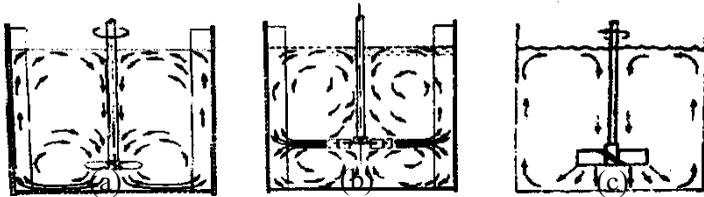


Gambar II.3 Bentuk-bentuk pengaduk

(a) pengaduk *hydrofoil impeller* (b) pengaduk *propeller* (c) pengaduk *turbine*

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. Pola aliran yang dihasilkan oleh tiap tiap pengaduk tersebut dapat dilihat pada gambar II.4.



Gambar II.4 Pola aliran fluida didalam tangki berpengaduk
 (a) *marine propeller* (b) *flat blade turbine*
 (c) *inclined blade turbine*

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

- komponen radial pada arah tegak lurus terhadap tangki berpengaduk
- komponen aksial pada arah sejajar (paralel) terhadap tangki pengaduk
- 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. ^[3]

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 tangki

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. 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 multifasa untuk pendekatan Eulerian yaitu *Volume of Fluid* (VOF), *mixture*, dan Eulerian.

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 penggunaannya 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

Turbulensi merupakan suatu fenomena yang tidak linier, tiga dimensi, dan berubah terhadap waktu. Pada aliran turbulen, secara kontinyu terbentuk pusaran – pusaran besar yang kemudian terpecah menjadi pusaran – pusaran yang lebih kecil dan akhirnya menghilang. Dua persamaan model turbulensi memberikan penentuan panjang turbulen dan skala waktu dengan menyelesaikan dua persamaan. Model turbulensi standard k-ε adalah model yang didasarkan pada persamaan transfer untuk *turbulence kinetic energy* (k) dan *dissipation rate* (ϵ). Penurunan persamaan k - ϵ dengan mengasumsikan bahwa aliran adalah *fully turbulence*, dan efek dari viskositas molekuler diabaikan. Sehingga, model ini hanya valid untuk aliran yang *fully turbulence*. Persamaan *turbulence kinetic energy* (k) dan *dissipation rate* (ϵ) berturut-turut adalah:

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

dan

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

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

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

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 turbulnt Prandtl untuk k dan ε berturut-turut 1, 1,3

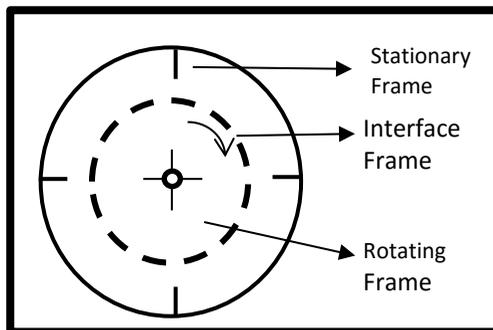
S_k, S_ε = user defined source

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*”.

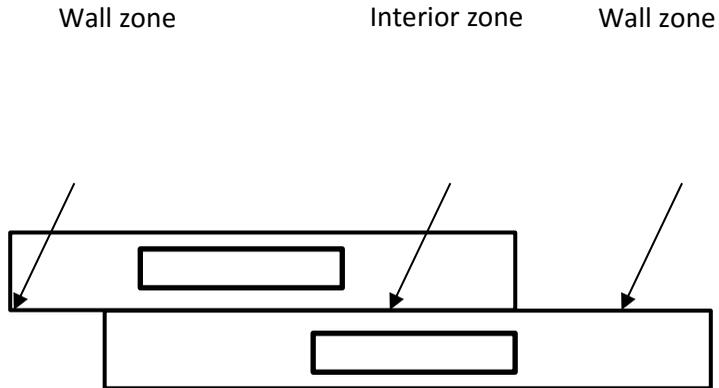
Untuk suatu tangki pencampur yang dilengkapi *impeller*, dapat didefinisikan suatu kerangka acuan yang berputar (*rotating reference frame*) yang melibatkan *impeller* dan aliran disekitarnya, menggunakan kerangka diam (*stationary frame*) untuk aliran di luar *impeller*. Contoh dari konfigurasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar II.2 (garis putus-putus menunjukkan *interface* antara dua kerangka acuan).



Gambar II.5 Ilustrasi untuk Model *Sliding Mesh* dalam Tangki Berpengaduk

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 *grid interface*. Untuk menghitung *interface flux*, persimpangan antara zona *interface flux*, persimpangan antara zona *interface* ditentukan setiap *time step* yang baru. Hasil dari persimpangan menghasilkan sebuah zona interior (zona dengan sel fluida pada kedua sisinya) dan satu atau lebih zona 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*.



Gambar II.6 Zona yang Dihasilkan oleh Persimpangan *Interface Non-Periodic*

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 Laju dan Waktu Pencampuran

Waktu pencampuran (*mixing time*) adalah waktu yang dibutuhkan sehingga diperoleh keadaan yang serba sama untuk menghasilkan campuran atau produk dengan kualitas yang telah ditentukan. Sedangkan laju pencampuran (*rate of mixing*) adalah laju di mana proses pencampuran berlangsung hingga mencapai kondisi akhir .^[10]

Pada operasi pencampuran dengan tangki pengaduk, waktu pencampuran ini dipengaruhi oleh beberapa hal,

1. Yang berkaitan dengan alat, seperti:
 - a. ada tidalnya *baffle* atau *cruciform baffle*
 - b. bentuk atau jenis pengaduk (turbin, propeler, padel)
 - c. ukuran pengaduk (diameter, tinggi)
 - d. laju putaran pengaduk
 - e. kedudukan pengaduk pada tangki, seperti
 - f. jarak terhadap dasar tangki
 - g. pola pemasangannya:
 - center, vertikal
 - off center, vertical
 - miring (*inclined*) dari atas
 - horizontal
 - h. jumlah daun pengaduk
 - i. jumlah pengaduk yang terpasang pada poros pengaduk
2. Yang berhubungan dengan cairan yang diaduk:
 - a. perbandingan kerapatan/ densitas cairan yang diaduk
 - b. perbandingan viskositas cairan yang diaduk
 - c. jumlah kedua cairan yang diaduk
 - d. jenis cairan yang diaduk (*miscible, immiscible*)

Untuk selanjutnya faktor-faktor tersebut dapat dijadikan variabel yang dapat dimanipulasi untuk mengamati pengaruh setiap faktor terhadap karakteristik pengadukan, terutama terhadap waktu pencampuran.

Beberapa teknik yang dapat digunakan untuk menentukan waktu dan laju pencampuran, antara lain:

1. Menambahkan pewarna dan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keseragaman warna
2. Menambahkan larutan garam dan mengukur konduktivitas elektrik saat komposisi seragam
3. Menambahkan asam atau basa serta mendeteksi perubahan warna indikator ketika Proses netralisasi sudah selesai
4. Metoda distribusi waktu tinggal (*residence time distribution*) yang diukur dengan memantau konsentrasi output

5. Mengukur temperatur serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keseragaman.

Waktu pencampuran ditentukan oleh beberapa variable proses dan operasi yang ditunjukkan oleh hubungan berikut ini.

$$\theta_m = f(\rho, \mu, N, D, g, \text{dimensi geometri sistem})$$

dengan θ_m = waktu pencampuran

ρ = densitas fluida

μ = viskositas fluida

N = kecepatan putaran pengaduk

D = diameter pengaduk

g = percepatan gravitasi

Jika faktor dimensi geometri dan bilangan Froude (DN^2/g) diabaikan, maka dapat disederhanakan menjadi:

$$\theta_m = f\left(\frac{\rho ND^2}{\mu}\right) = f(Re) \quad (2.18)$$

II. 7. Inhomogenitas

Inhomogenitas adalah suatu nilai yang menggambarkan distribusi konsentrasi species di dalam tangka atau biasa diartikan sebagai ketidakseragaman saja^[6]. Ada dua macam inhomogenitas, yaitu inhomogenitas lokal dan inhomogenitas global.

Inhomogenitas lokal (i_{lokal}) diartikan sebagai harga absolut deviasi konsentrasi lokal terhadap konsentrasi keseimbangan, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$i_{\text{lokal}} = \frac{|c - c_{\infty}|}{c_{\infty} - c_0} \quad (2.19)$$

dimana c_0 adalah konsentrasi awal. Nilai global untuk tangki ditentukan dengan integrasi:

$$I = \frac{1}{V} \int_0^V \frac{|c - c_{\infty}|}{c_{\infty} - c_0} dV \quad (2.20)$$

Definisi ini sebelumnya telah digunakan oleh Fort (1986), Porchazka dan Landau (1961) serta Mayr et al. (1982). Proses pencampuran dapat dikatakan sempurna apabila konsentrasi pada saat itu memiliki selisih antara 0.1 sampai 5 % dari konsentrasi

akhir atau inhomogenitasnya mencapai nilai tersebut diatas dengan catatan konsentrasi awalnya sama dengan nol. [6]

II. 8 Penelitian Terdahulu

Wesselingh (1975) meneliti tentang pencampuran zat cair pada tangki penyimpanan silinder dengan *side-entering propeller* untuk memperoleh korelasi umum dari variabel pencampuran dengan berbagai model skala tangki dan berkorelasi dengan cara analisis dimensi.

Penelitian dengan perbedaan densitas yang kecil, zat cair menunjukkan kecenderungan yang pasti untuk memisah, tetapi *layer* dengan perbedaan *interface* hanya ditemukan jika tangki diisi dengan hati-hati. Pada awal percobaan, konduktifitas dari dua *layer* zat cair berbeda secara luas. Ketika agitator dijalankan, zat cair mulai bergerak dan merespon perubahan sel, sehingga meratakan ke nilai akhir ketika zat cair dianggap tercampur.

Hubungan fungsional antara komposisi dari campuran dua zat cair pada satu sisi dan densitas campuran dengan viskositas pada sisi yang lain juga mempengaruhi pola pencampuran. Pengaruh diameter tangki sebenarnya dengan model (d/D) sangat ekstrim akan sangat berguna untuk pencampuran awal zat cair bertingkat, waktu pencampuran menjadi besar ketika dua *layer* sama-sama tebal.

Oldshue (1983) , meneliti waktu yang dibutuhkan untuk campuran lapisan air dengan perbedaan temperatur dan *density* dengan cara *side-entering propeller*. Rasio tangki (H/D) dan (H^2/H) adalah sama dengan 0 dan 0,1-0,2 berturut-turut. Efek dari perbedaan *density* dan kecepatan *propeller* adalah sangat mirip dengan Wesselingh namun efek dari d/D lebih besar. Homogenitas campuran diperiksa dengan mengukur densitas sampel cair. Penentuan waktu pencampuran terpendek tidak akurat terutama karena perbedaan densitas awal hanya sampai 5 kg/m^3 . Bilangan *Reynolds* memiliki pengaruh yang kecil, *propeller blade* lebih baik digunakan dan perbedaan temperatur antara zat cair dapat menyebabkan perbedaan densitas yang sebenarnya menjadi cukup

berbeda dengan yang diukur pada sampel dengan kondisi laboratorium.

Sukmawedha dan Sari (2012) meneliti pola alir dan suspensi solid dalam TB-SEI dengan pendekatan simulasi CFD. Pola alir pada geomtri tangki besar terdapat daerah stagnant flow yang cukup besar. Makin kecil geomteri (H/D) tangki rasio *dead zone* terhadap volume liquidanya makin kecil.

Permodelan dan simulasi CFD telah berevolusi dari era megaflop pada akhir tahun 1970an hingga teraflop computing pada saat ini. Perkembangan dari metodologi pemodelan dan simulasi memberikan sebuah transformasi teknik komputasi terhadap sains dan teknik, menjadikan komputasi sebagai disiplin ilmu prediksi berbasis sains kenyataan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

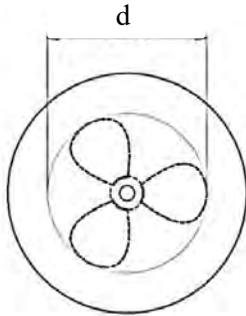
Proses pembuatan sistem dalam penelitian ini menggunakan piranti lunak ANSYS® 16.2 *Academic Package* dengan lisensi pengguna milik Jurusan Teknik Kimia ITS. Untuk permodelan geometri digunakan Design Modeller® dengan penentuan *grid* dan jumlah *node* menggunakan *Meshing*® dan perhitungan iterasi simulasi CFD menggunakan FLUENT®

III.1 Sistem yang Dipelajari

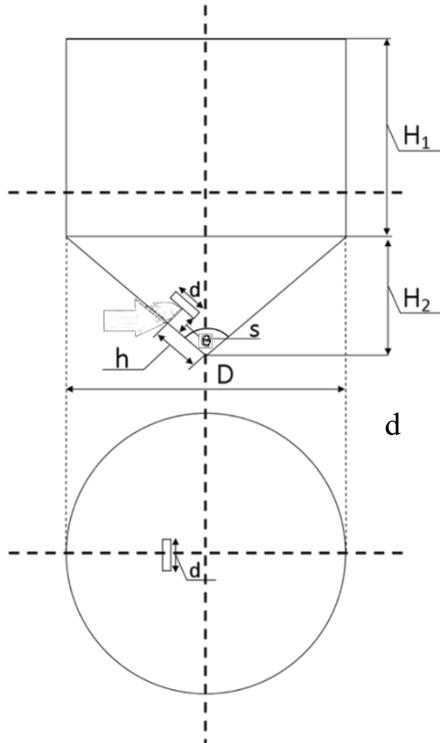
Sistem yang digunakan dalam penelitian pencampuran mollasses dan air ini adalah tangki silinder dengan dasar konis (*conicle bottomed cylindrical tank*) dengan diameter $D=260\text{mm}$, tinggi silinder atas $H_1=233\text{mm}$ dan tinggi konis $H_2=130\text{mm}$ seperti ditunjukkan pada Gambar III.1. *Impeller* aksial digunakan untuk memberi gaya dorong dan digunakan pada tangki yang berskala kecil. *Marine propeller* berdiameter pada aplikasinya digunakan pada tangki berskala kecil dimana *pitch* dapat diatur berbeda-beda untuk mengubah kapasitas pemompaan dan gaya dorongnya. *Marine propeller* yang digunakan berdiameter 33mm seperti ditunjukkan Gambar III.2. Dimensi tangki dan *impeller* ditunjukkan pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Dimensi Tangki Konis dan *Impeller*

D (mm)	d (mm)	H₁ (mm)	H₂ (mm)	h (mm)	s (mm)	θ
260	33	233	130	92	6.9	90



Gambar III.1 Geometri *Marine Propeller*



Gambar III.2 Dimensi *Tangki Silinder*

Tabel III.2 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.3 Spesifikasi Molasses yang Digunakan

Jenis	Molasses	Larutan Molasses
Suhu (°C)	32	32
Densitas (kg/m ³)	1932,32	1369
Viskositas (kg/m.s)	2,08	1,09
Kadar Gula (% massa)	56	34

III.2. Prosedur Simulasi CFD

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

Tahapan *Pre-Processing*

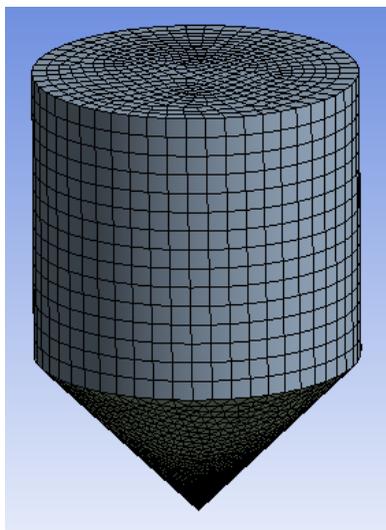
Geometri dan *meshing* menggunakan *software Design Modeller*[®]

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

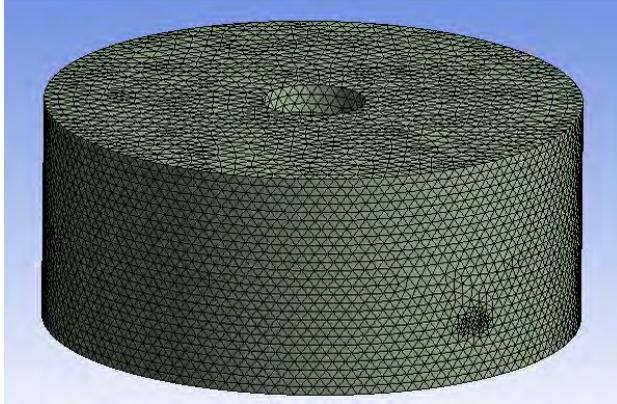
Berikut ini adalah data statistik *meshing* untuk moving zone, static zone dan gabungan dari keduanya :

Tabel III.4 Hasil statistic *meshing*

Statistic	Moving Zone	Static Zone
<i>Meshing</i> Type	Tetrahedron	Tetrahedron
Nodes	42610	26332
Elements	224036	103699
Skewness (ave)	0,2409	0,20964
Statistic	Gabungan	
Nodes	68942	
Elements	327735	



Gambar III.3 Meshing stationary zone



Gambar III.4 *Meshing moving zone*

Tahapan Solving

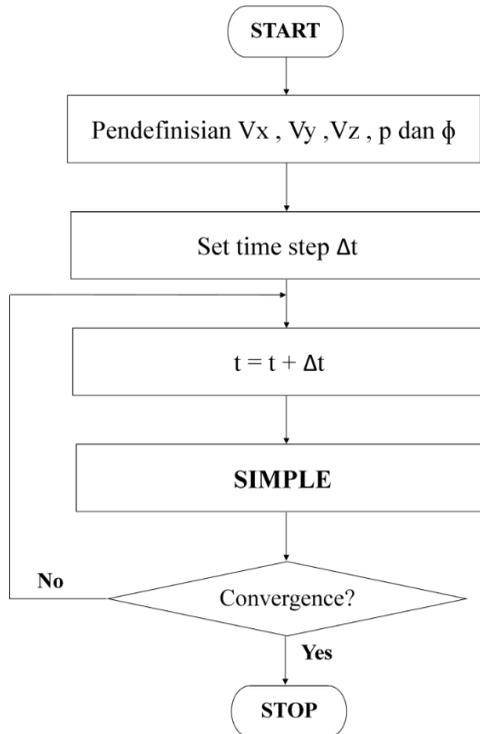
Sistem *unsteady state* menggunakan software FLUENT®

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 dan Larutan Molasses
5. Menentukan kondisi operasi dan kondisi batas pada system 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*

Tahapan Post processing

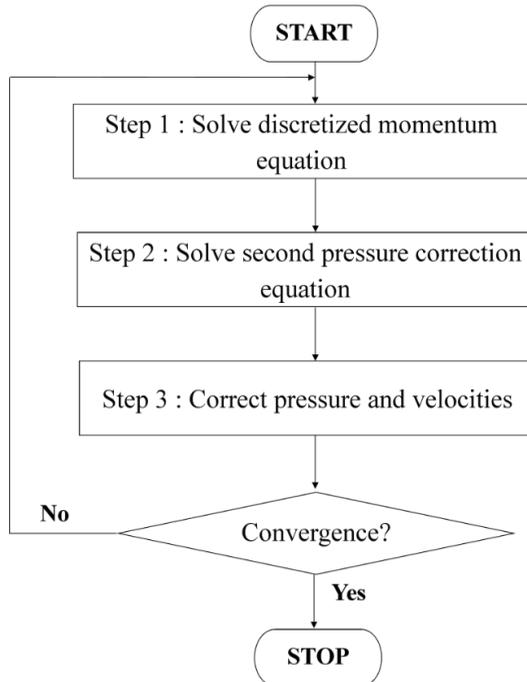
1. Memperoleh hasil simulasi berupa gambar, data indeks homogenitas yang telah diatur sesuai bidang pengamatan
2. Menganalisa gambar dan data yang didapat

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.5 Flowchart Proses Iterasi SIMPLE

III.3. Variabel Percobaan

Variabel yang digunakan dalam sistem yang dipelajari adalah:

1. Variabel kecepatan putar:
 - 1300 rpm
 - 1600 rpm

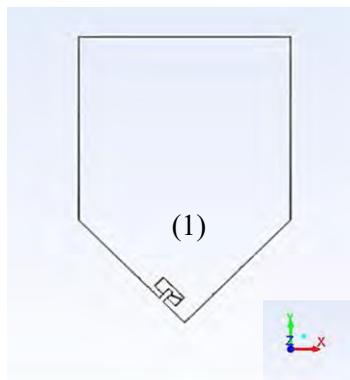
III.4. Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan untuk sistem yang dipelajari antara lain:

1. Dinding konis dan dinding silinder dianggap sebagai *wall* dimana *interface*-nya dengan *liquida* 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.
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 *liquida* didekati dengan *no slip condition*.
7. *Interface* antara permukaan *liquida* dengan udara luar didekati dengan kondisi *no shear* dan dianggap datar.

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.5 Bidang Pengamatan Tangki

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

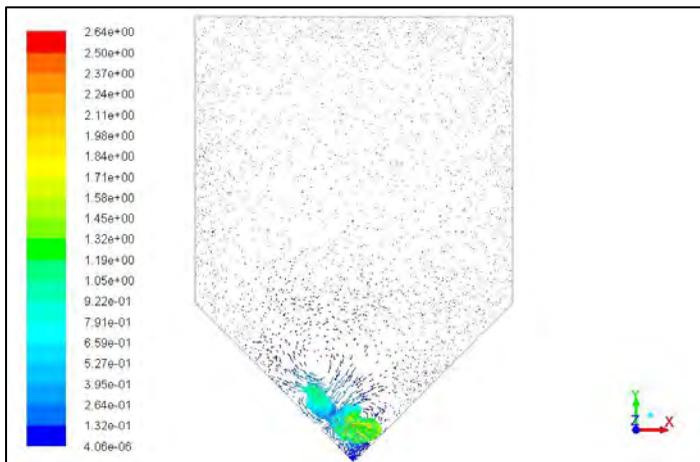
Data yang didapatkan dari penelitian ini diperoleh melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan menggunakan *software* FLUENT 16.2. Simulasi dilakukan dengan metode *transient* menggunakan model k- ϵ dengan jumlah iterasi sebanyak 20 untuk setiap 0,01 *time step*.

IV.1 Identifikasi Pola Alir

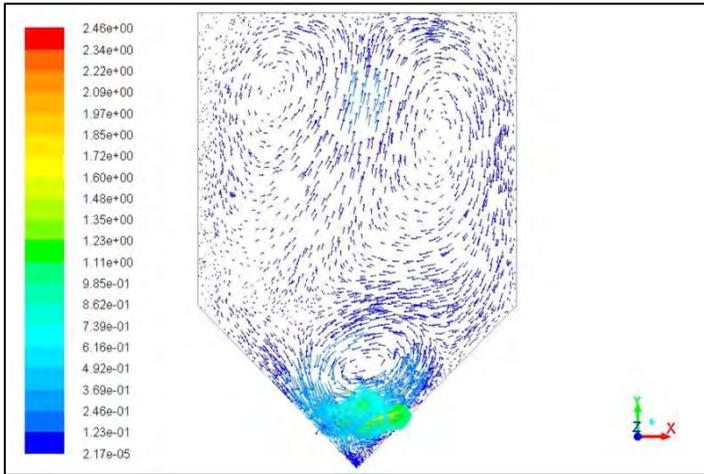
Impeller dapat dikarakterisasikan berdasarkan pola alir yang dihasilkan oleh *impeller* radial dan aksial. Pada penelitian ini digunakan *impeller* tipe aksial yaitu *Marine Propeller*. *Marine Propeller* merupakan *Impeller* yang menghasilkan pola aliran aksial, dengan sirkulasi aliran yang beroperasi 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.

Gambar IV.1 hingga IV.4 menampilkan *velocity magnitude* dalam bentuk plot vector pada bidang r-y untuk sistem yang menggunakan *impeller* jenis *Marine Propeller* dengan menggunakan kecepatan putar 1300 rpm. Dari gambar terlihat

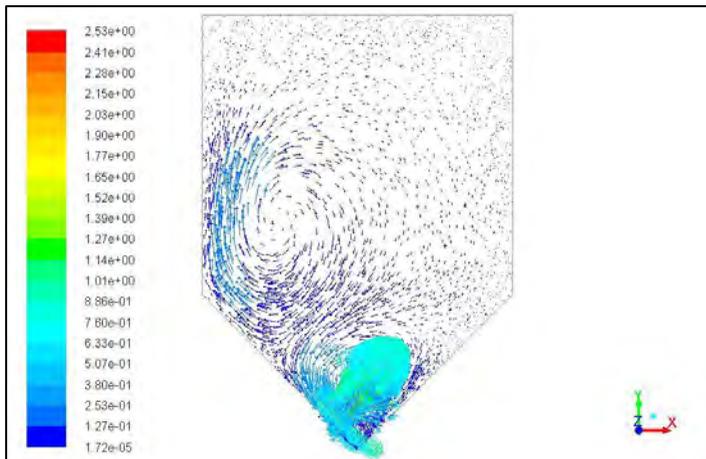
bahwa aliran liquidida meninggalkan *impeller* dengan arah radial membentuk *loop circulation*. Aliran keluar menuju dasar tangki kearah aksial negatif (kebawah) kemudian pada bagian dasar fluida menyimpang mengubah arahnya bergerak ke atas ke arah aksial positif. Kemudian fluida mengalir bergerak secara radial masuk kearah aksial negatif (kebawah) lagi menuju *impeller* menutup sirkulasi *loop*. Adanya pola alir lain yang terbentuk secara tidak beraturan dan tidak stabil disekitar dinding tangki dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah geomteri 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*. Dari gambar IV.1 hingga IV.4 terlihat adanya aliran liquidida di bagian dasar tangki konis yang kecepatannya lebih besar dari aliran di bagian atas tangki konis dan kemudian segera mengikuti pola aliran yang ada disekitarnya.



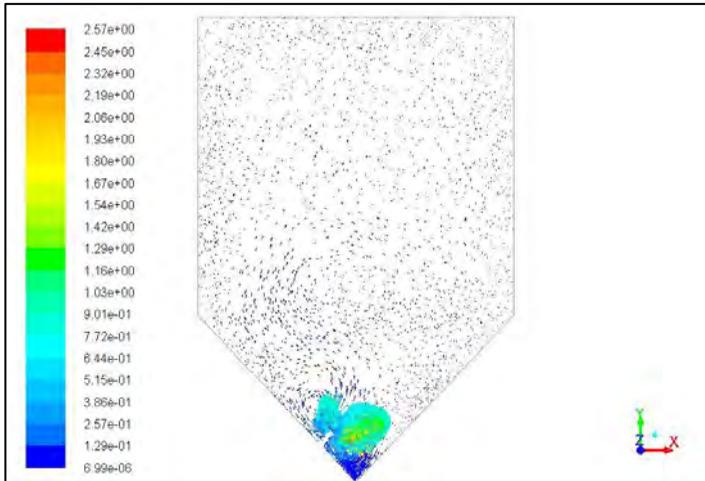
Gambar IV.1 Medan Aliran Liquidida Pada Bidang R-Y dengan *Marine Propeller* dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 1s.



Gambar IV.2 Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan *Marine Propeller* dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 10s.

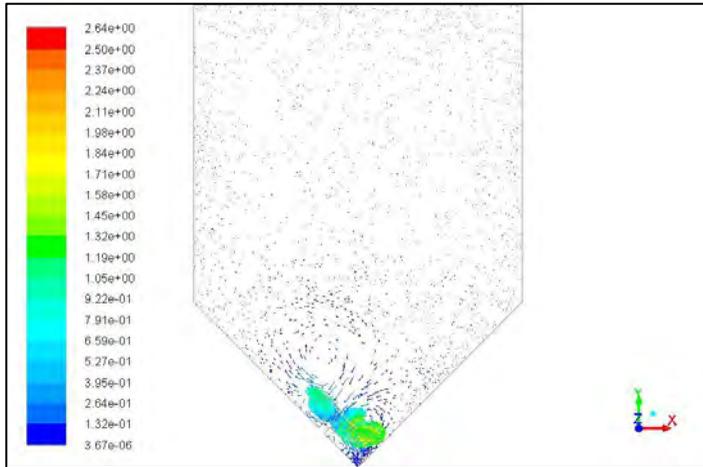


Gambar IV.3 Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan *Marine Propeller* dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 23s.

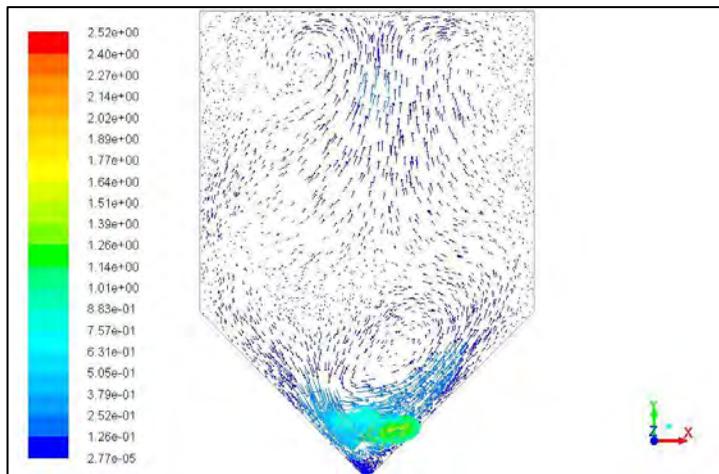


Gambar IV.4 Medan Aliran Liquida Pada Bidang R-Y dengan *Marine Propeller* dengan Kecepatan 1300rpm pada detik ke 30s.

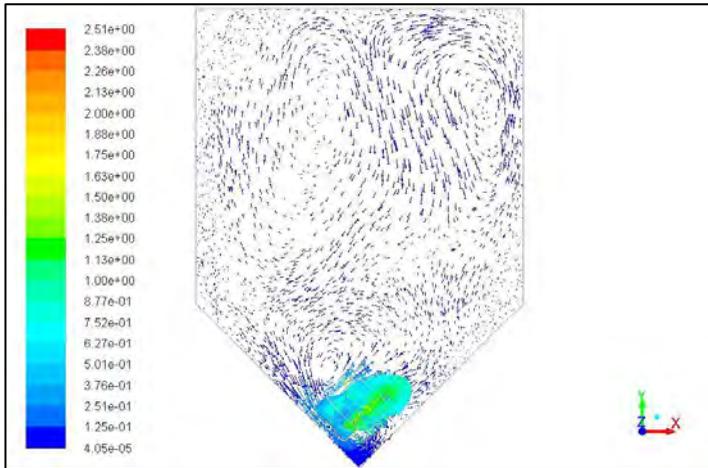
Pada gambar IV.5 hingga IV.8 menunjukkan medan aliran pada sistem yang juga menggunakan *impeller* jenis *Marine Propeller* namun dengan kecepatan putar yaitu 1600rpm. Dimana aliran liquida yang terjadi sama dengan sistem yang pertama, hanya berbeda pada besarnya kecepatan aksial pada daerah diatas dan dibawah *impeller* yang terjadi karena pengaruh besarnya kecepatan *impeller*.



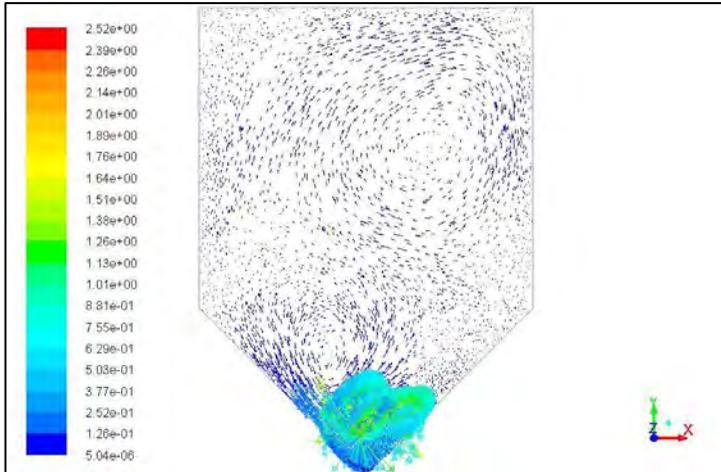
Gambar IV.5 Medan Aliran Liquida pada Bidang r-y dengan *Marine Propeller* dengan kecepatan 1600rpm pada detik ke 1s.



Gambar IV.6 Medan Aliran Liquida pada Bidang r-y dengan *Marine Propeller* dengan kecepatan 1600rpm pada detik ke 10s.



Gambar IV.7 Medan Aliran Liquida pada Bidang r-y dengan Marine Propeller dengan kecepatan 1600rpm pada detik ke 20s.

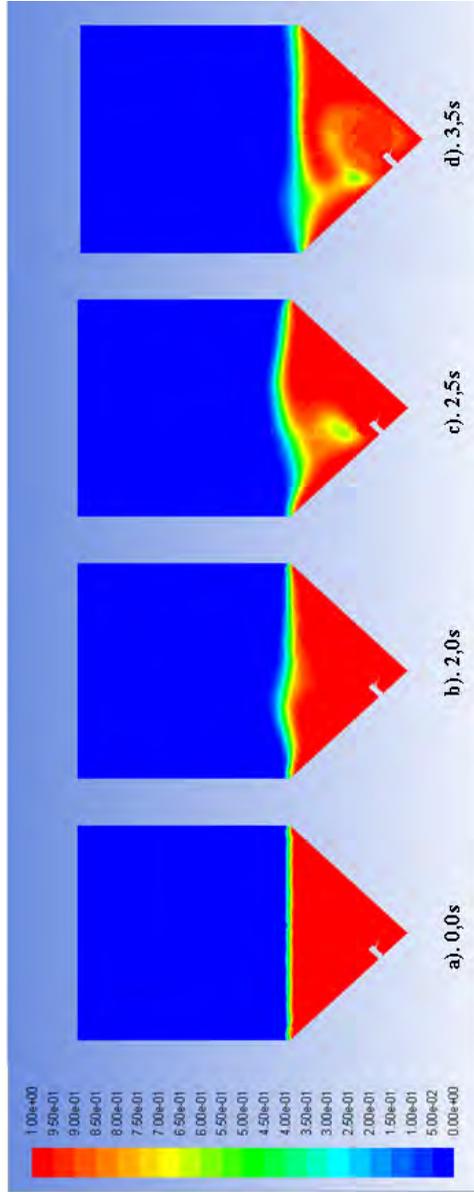


Gambar IV.8 Medan Aliran Liquida pada Bidang r-y dengan Marine Propeller dengan kecepatan 1600rpm pada detik ke 30s.

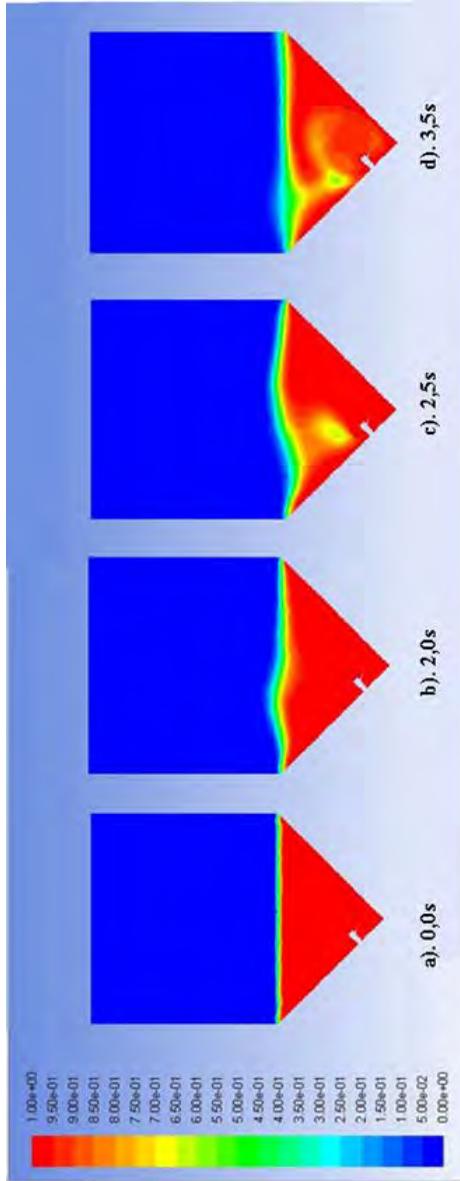
IV.2 Kontur Konsentrasi

Kontur konsentrasi selama proses pengadukan terlihat pada gambar IV.9-IV.20 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.

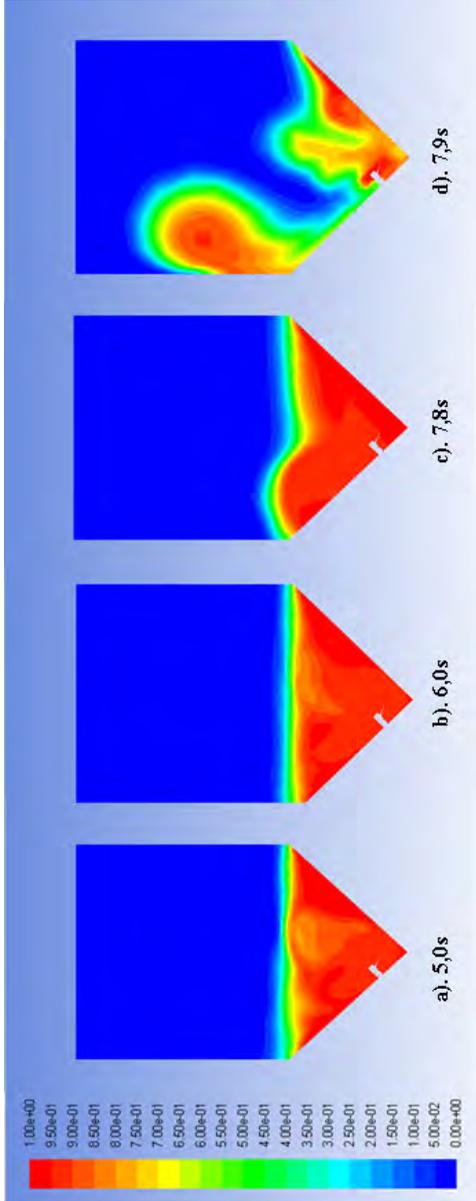
Dari gambar IV.9 hingga IV.20 terlihat bahwa konsentrasi terbesar berada tepat dibagian dasar tangki konis. Kemudian setelah proses pengadukan dimulai terlihat bahwa profil konsentrasi mulai menyebar ke seluruh bagian tangki. Akhirnya setelah beberapa saat kemudian terlihat bahwa profil konsentrasi hampir seragam diseluruh bagian tangki, pada saat inilah proses pencampuran telah dianggap sempurna dan waktu selama berlangsungnya proses pencampuran disebut sebagai waktu pencampuran.



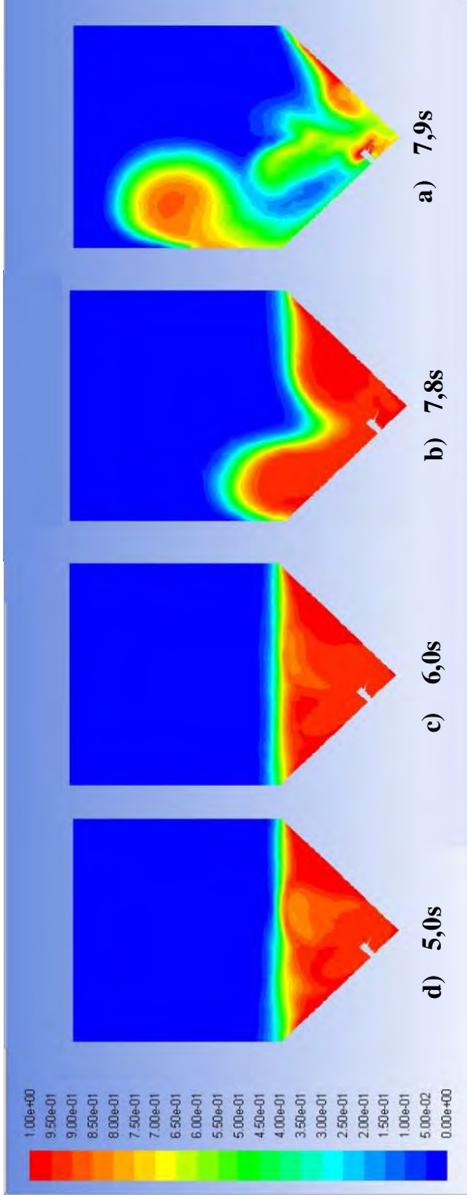
Gambar IV.9 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 0s ; 2s ; 2,5s dan 3,5s



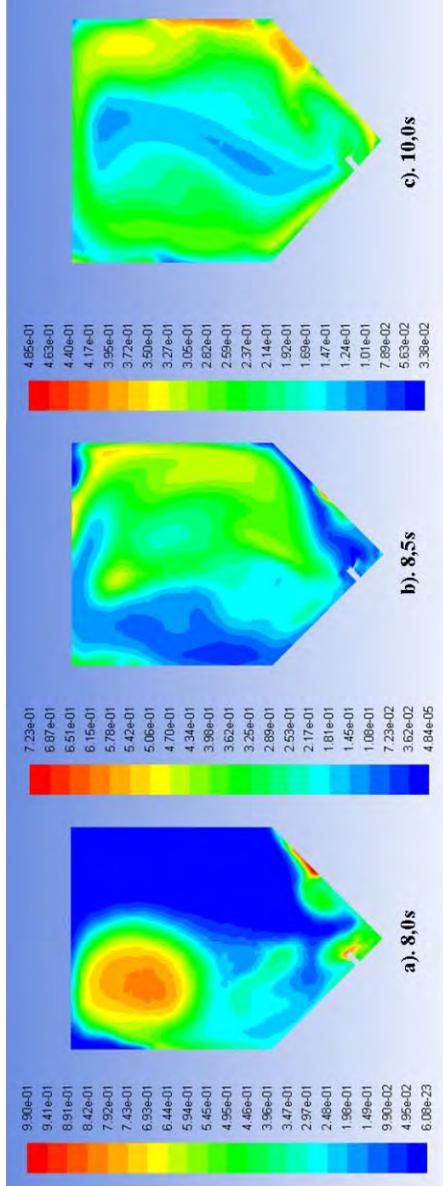
Gambar IV.9 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 0s ; 2s ; 2,5s dan 3,5s



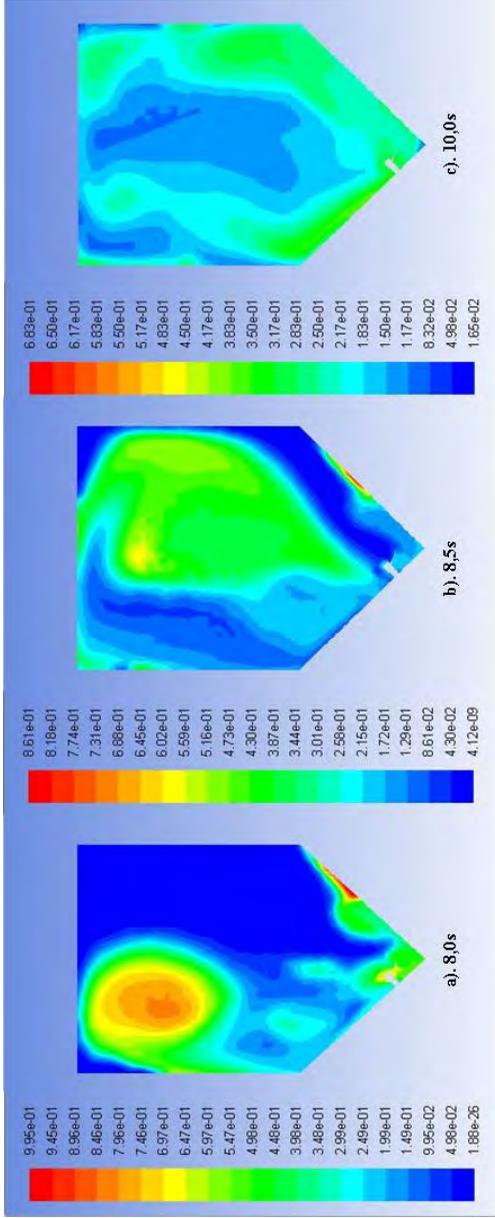
Gambar IV.11 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 5s ; 6s ; 7,8s dan 7,9s



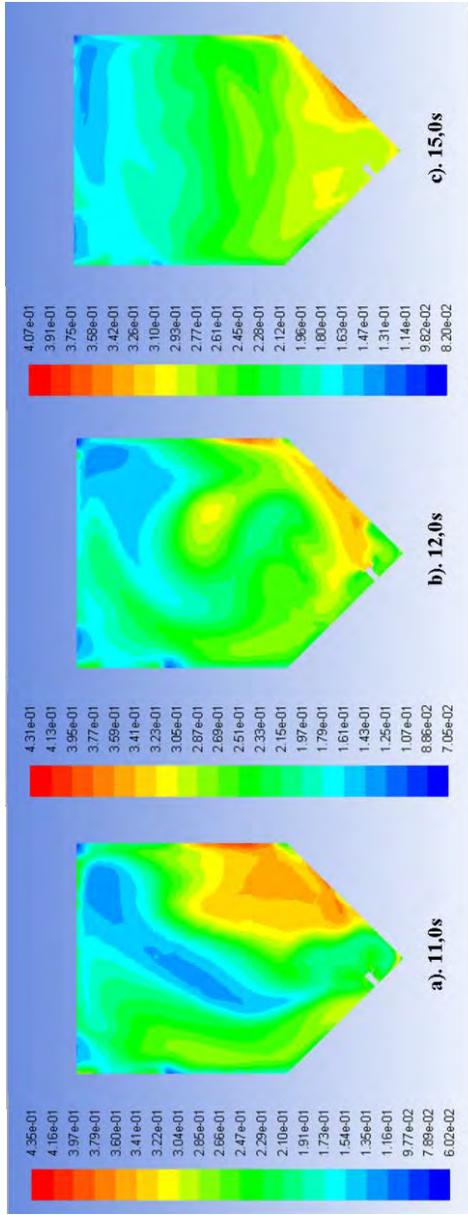
Gambar IV.12 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Benjeng Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 5s ; 6s ; 7,8s dan 7,9s



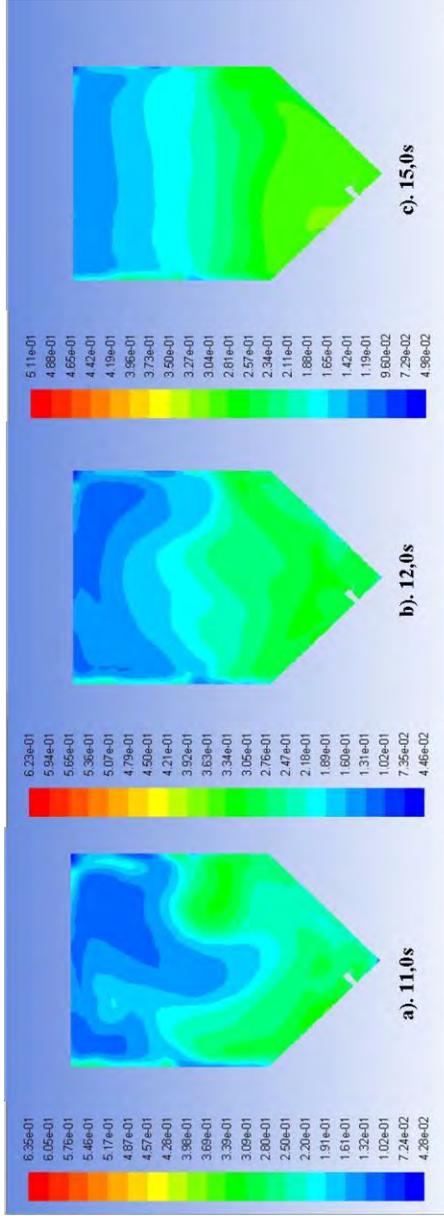
Gambar IV.13 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 8s ; 8,5 dan 10s



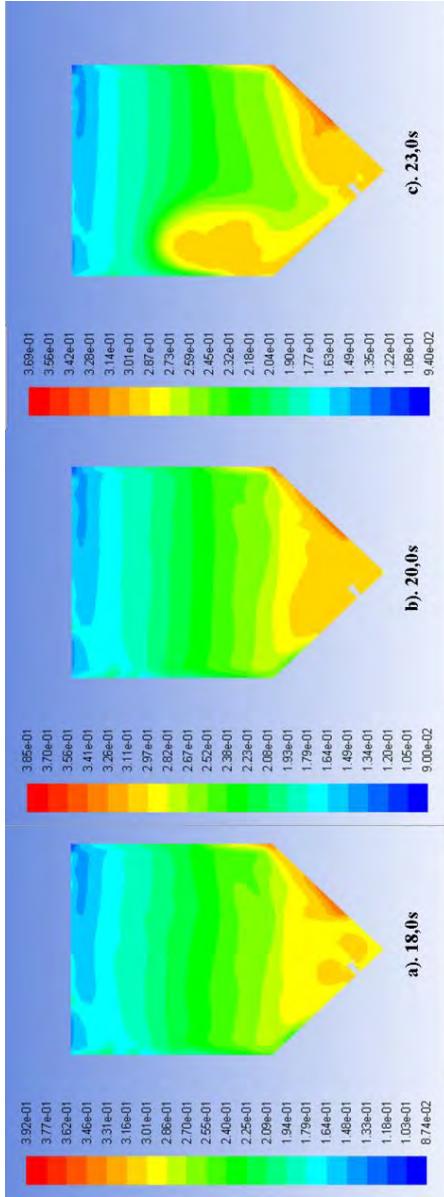
Gambar IV.14 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 8s ; 8,5 dan 10s



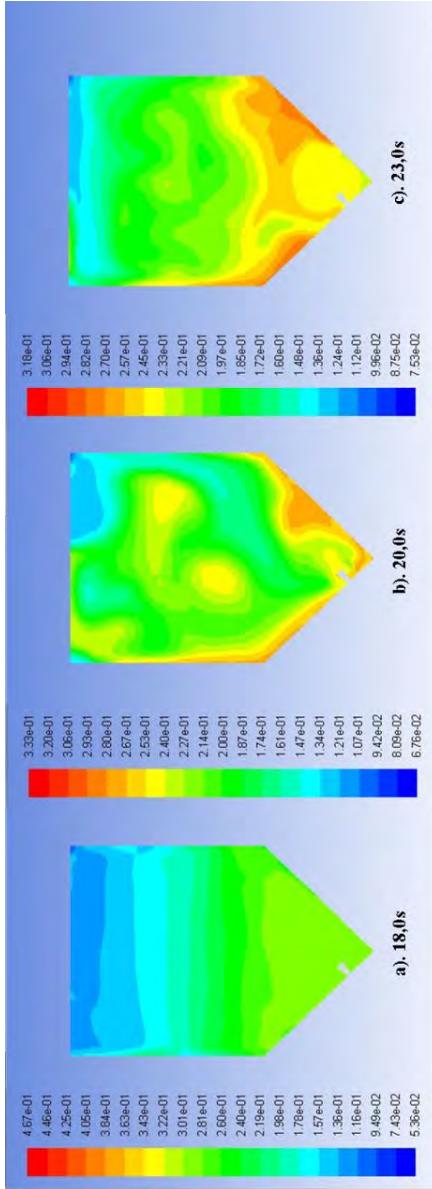
Gambar IV.15 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 11s ; 12s dan 15s



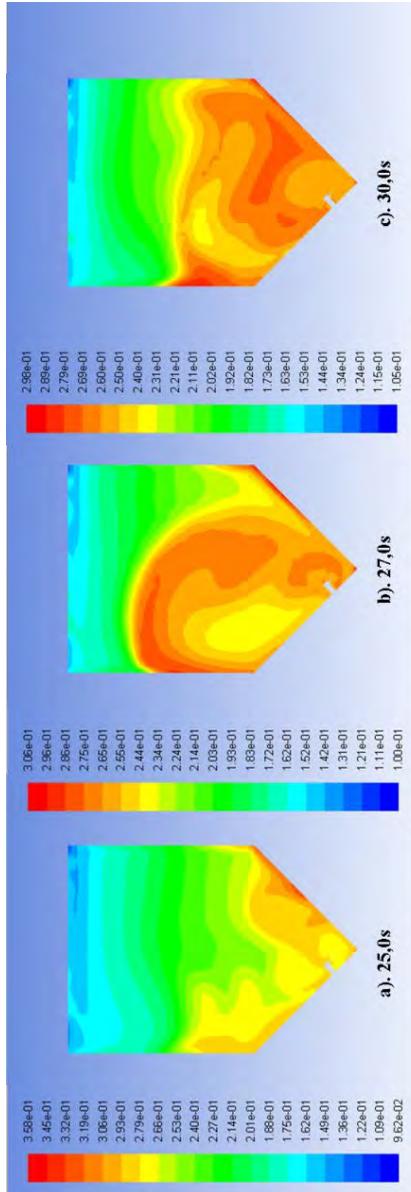
Gambar IV.16 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Benjensis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 11s ; 12s dan 15s



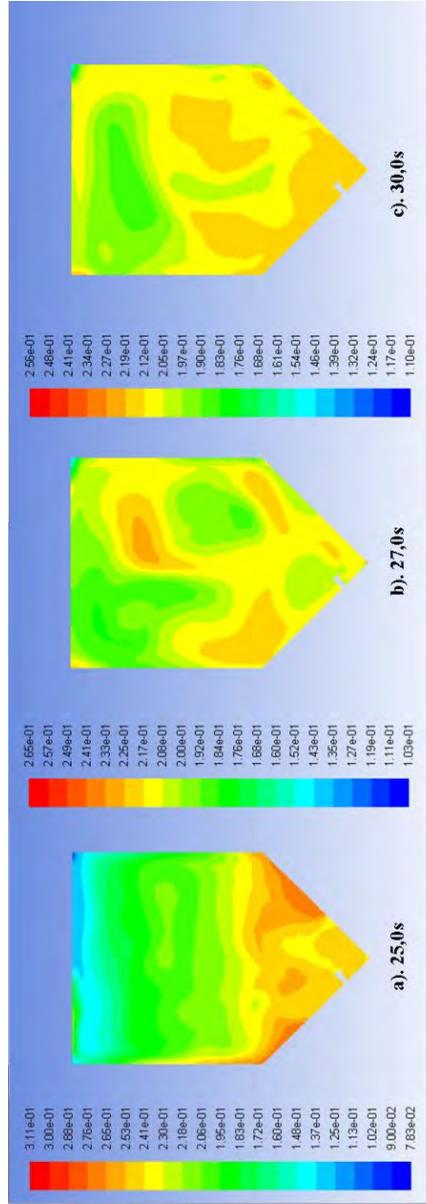
Gambar IV.17 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan Impeller Berjenis Marine Propeller dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 18s ; 20s dan 23s



Gambar IV.18 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 18s ; 20s dan 23s



Gambar IV.19 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1300rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 25s ; 27s dan 30s



Gambar IV.20 Kontur Konsentrasi Molasses-Air didalam Tangki Konis dengan *Impeller* Berjenis *Marine Propeller* dengan Kecepatan Putar 1600rpm pada Waktu Pencampuran Detik ke 25s ; 27s dan 30s

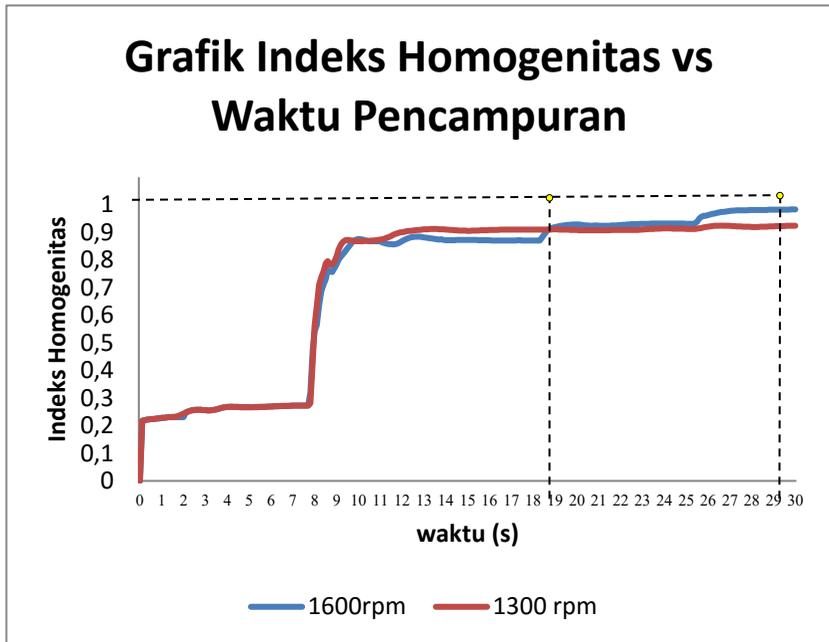
IV.3 Homogenitas dan waktu pencampuran

Homogenitas adalah 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 telah seragam / homogen. Pada penelitian ini nilai indeks homogenitas antara larutan molasses dan air diperoleh dari data hasil simulasi FLUENT. Pada gambar IV.21 terlihat hubungan antara indeks homogenitas dengan waktu. Dalam simulasi ini digunakan selang waktu pengambilan data sebesar 0,1 detik dengan harapan bahwa perubahan konsentrasi dapat diamati dengan baik. Dari gambar tersebut tampak bahwa pada saat 0 detik, nilai indeks homogenitasnya sama dengan 0. Kemudian semakin lama pengadukan maka nilai homogenitas akan semakin naik hingga mendekati nilai maksimal yaitu 1. Pada detik ke 30 , untuk variabel kecepatan putar 1600rpm mencapai nilai maksimal yaitu 0,9832 dan untuk variabel kecepatan putar 1300rpm mencapai nilai maksimal yaitu 0,9237.

Dari hubungan inilah waktu pencampuran dapat ditentukan dimana pada literatur disebutkan bahwa pencampuran dianggap telah sempurna ketika homogenitasnya telah mencapai angka 1. Selanjutnya hasil dari penentuan waktu pencampuran dapat dilihat dalam tabel IV.1.

Tabel IV.1 Waktu Pencampuran yang Terprediksi dari Simulasi

Kecepatan putar (rpm)	Waktu Pencampuran (detik)	Indeks Homogenitas
1300	29,1	0,9224
1600	19,2	0,9224



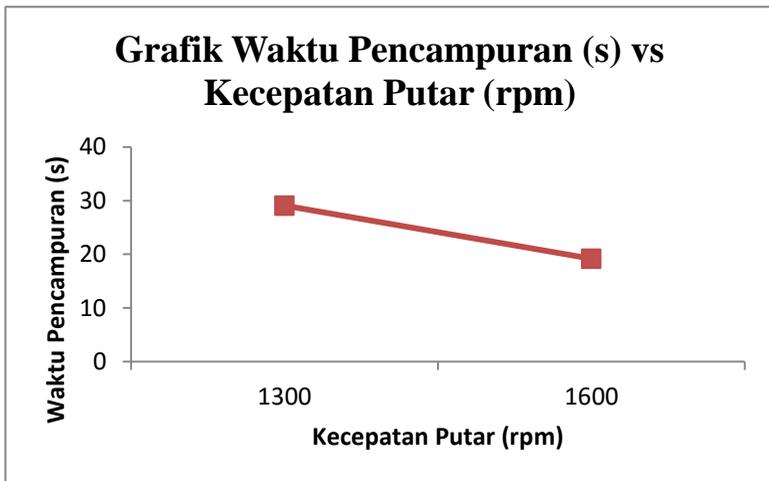
Gambar IV.21 Hubungan Antara Homogenitas dan Waktu pada Tangki Konis dengan *Impeller Marine Propeller* untuk Kecepatan 1300rpm dan 1600rpm

IV.4 Pengaruh kecepatan putar *Impeller* terhadap waktu pencampuran

Gambar IV.22 menunjukkan hubungan antara waktu pencampuran dengan kecepatan putar *impeller*. Dari gambar tersebut bahwa semakin besar kecepatan putar *Impeller*, maka semakin kecil waktu diperlukan untuk menghasilkan campuran yang homogen. Hal ini terjadi karena kecepatan putar *impeller* mempengaruhi laju turbulensi dan sirkulasi aliran liquida dalam tangki.

Semakin besar kecepatan putar *impeller*, semakin besar pula laju turbulensi dan sirkulasinya, sehingga dengan demikian molasses akan semakin cepat terdistribusi di dalam tangki.

Besarnya laju turbulensi dan cepatnya larutan molasses terdistribusi didalam tangki dapat dianalisa dari nilai energi kinetik turbulensi dan nilai disipasi turbulensinya. Pada penelitian ini nilai energi kinetik turbulensi dan nilai disipasi turbulensi didapatkan dari hasil perhitungan secara integral dua persamaan model turbulensi yang digunakan yaitu k- ϵ di FLUENT yaitu persamaan (2.8) dan (2.9). Pada sistem dengan kecepatan 1600rpm nilai energi kinetik turbulen yang dihasilkan, yaitu $0,0137 \text{ m}^2/\text{s}^2$ lebih besar apabila dibandingkan dengan sistem yang berkecepatan 1300rpm yaitu $0,0003 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Bila dibandingkan pula , nilai disipasi turbulensi pada sistem dengan kecepatan 1600rpm adalah $3,1573\text{m}^2/\text{s}^3$ sedangkan untuk sistem dengan kecepatan 1300rpm adalah $0,0674 \text{ m}^2/\text{s}^3$.



Gambar IV.22 Hubungan Antara Waktu Pencampuran dan Kecepatan Putar pada Tangki Konis dengan *Impeller Marine Propeller*.

APPENDIKS

Tabel A. Data Homogenitas Untuk Variabel Kecepatan Putar Impeller 1300rpm dan 1600rpm

Detik	Homogenitas		Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm		1600 rpm	1300 rpm
0	0	0	3,9	0,26703201	0,26696200
0,1	0,21779180	0,21761840	4	0,26813207	0,26809190
0,2	0,21951487	0,21936880	4,1	0,26865990	0,26864400
0,3	0,22123959	0,22110630	4,2	0,26867811	0,26867180
0,4	0,22269943	0,22261490	4,3	0,26839344	0,26838890
0,5	0,22356556	0,22354130	4,4	0,26796863	0,26796630
0,6	0,22434458	0,22430330	4,5	0,26755894	0,26753570
0,7	0,22547321	0,22541970	4,6	0,26728341	0,26721590
0,8	0,22656694	0,22655080	4,7	0,26713002	0,26701930
0,9	0,22656694	0,22735860	4,8	0,26708178	0,26693020
1	0,22821102	0,22819240	4,9	0,26711329	0,26691990
1,1	0,22902238	0,22900950	5	0,26718139	0,26694640
1,2	0,22968266	0,22968400	5,1	0,26727354	0,26698970
1,3	0,23041501	0,23023840	5,2	0,26738720	0,26706120
1,4	0,23128509	0,23107300	5,3	0,26753602	0,26716920
1,5	0,23128509	0,23148460	5,4	0,26772433	0,26732980
1,6	0,23128509	0,23241200	5,5	0,26794662	0,26753700
1,7	0,23128509	0,23424550	5,6	0,26820131	0,26778260
1,8	0,23128509	0,23689250	5,7	0,26849311	0,26807240
1,9	0,23128509	0,23999450	5,8	0,26882851	0,26840930
2	0,23128509	0,24363440	5,9	0,26920414	0,26879280
2,1	0,24777222	0,24721380	6	0,26960534	0,26920970
2,2	0,25121282	0,25071790	6,1	0,27000729	0,26962850
2,3	0,25406266	0,25355020	6,2	0,27039759	0,27004150
2,4	0,25606058	0,25558040	6,3	0,27077300	0,27044260
2,5	0,25722286	0,25676260	6,4	0,27112179	0,27082280
2,6	0,25769486	0,25728050	6,5	0,27142463	0,27115870
2,7	0,25768289	0,25737080	6,6	0,27169029	0,27145250
2,8	0,25731342	0,25710570	6,7	0,27192356	0,27171010
2,9	0,25664749	0,25655600	6,8	0,27212246	0,27193000
3	0,25593333	0,25593610	6,9	0,27229029	0,27211330
3,1	0,25546316	0,25552180	7	0,27243032	0,27226460
3,2	0,25545689	0,25555650	7,1	0,27254631	0,27238990
3,3	0,25610265	0,25619490	7,2	0,27263909	0,27248620
3,4	0,25738459	0,25744730	7,3	0,27271094	0,27256550
3,5	0,25915987	0,25920130	7,4	0,27276444	0,27262650
3,6	0,26104438	0,26102610	7,5	0,27280635	0,27267350
3,7	0,26316947	0,26311500	7,6	0,27284065	0,27271140
3,8	0,26526628	0,26518920	7,7	0,27301547	0,27274630

Lanjutan Tabel A

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
7,8	0,32022417	0,28138870
7,9	0,47043048	0,42823160
8	0,54095523	0,56096180
8,1	0,56389644	0,63435090
8,2	0,63336790	0,70996430
8,3	0,68639929	0,73719470
8,4	0,71135313	0,75857680
8,5	0,73047357	0,78716050
8,6	0,76270980	0,79615420
8,7	0,75971588	0,78235860
8,8	0,75642525	0,78430740
8,9	0,77071668	0,79450330
9	0,78554983	0,81370110
9,1	0,80033643	0,83776850
9,2	0,81239889	0,85484840
9,3	0,82190716	0,86558390
9,4	0,83232672	0,87132190
9,5	0,84274465	0,87283040
9,6	0,85277878	0,87150870
9,7	0,86194734	0,87022640
9,8	0,86941274	0,86897790
9,9	0,87427562	0,86826600
10	0,87613506	0,86787470
10,1	0,87563874	0,86813260
10,2	0,87389214	0,86836840
10,3	0,87137089	0,86878930
10,4	0,86911819	0,86930690
10,5	0,86783026	0,86971200
10,6	0,86770869	0,87014120
10,7	0,86808304	0,87066430
10,8	0,86821647	0,87123270
10,9	0,86780427	0,87223120
11	0,86644452	0,87353160
11,1	0,86391584	0,87523700
11,2	0,86123827	0,87769200
11,3	0,85928553	0,88050720
11,4	0,85802599	0,88352080
11,5	0,85710740	0,88718350
11,6	0,85656055	0,89095820
11,7	0,85733518	0,89458520
11,8	0,85988413	0,89733730

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
11,9	0,86373961	0,89918860
12	0,86819508	0,90082920
12,1	0,87257204	0,90227040
12,2	0,87643061	0,90363840
12,3	0,87956790	0,90487940
12,4	0,88184911	0,90586550
12,5	0,88334031	0,90679870
12,6	0,88411553	0,90769500
12,7	0,88424601	0,90859120
12,8	0,88387795	0,90942920
12,9	0,88311936	0,91017080
13	0,88209230	0,91083550
13,1	0,88091585	0,91138410
13,2	0,87967603	0,91176960
13,3	0,87841985	0,91199790
13,4	0,87718413	0,91208330
13,5	0,87603826	0,91204020
13,6	0,87492860	0,91186330
13,7	0,87393860	0,91156860
13,8	0,87495904	0,91117010
13,9	0,87261551	0,91070640
14	0,87209000	0,91018320
14,1	0,87178620	0,90962760
14,2	0,87168585	0,90904360
14,3	0,87177536	0,90846000
14,4	0,87200343	0,90789420
14,5	0,87229613	0,90736670
14,6	0,87260317	0,90689960
14,7	0,87280210	0,90650670
14,8	0,87284647	0,90620660
14,9	0,87282920	0,90600690
15	0,87278092	0,90591080
15,1	0,87269194	0,90591460
15,2	0,87256782	0,90601600
15,3	0,87241263	0,90620280
15,4	0,87223198	0,90646640
15,5	0,87203476	0,90679140
15,6	0,87183097	0,90715500
15,7	0,87162615	0,90753360
15,8	0,87143458	0,90790390
15,9	0,87126481	0,90824390

Lanjutan Tabel A

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
16	0,87111653	0,90854230
16,1	0,87099624	0,90879990
16,2	0,87090216	0,90901820
16,3	0,87083454	0,90920150
16,4	0,87079444	0,90935300
16,5	0,87077993	0,90947680
16,6	0,87078497	0,90957400
16,7	0,87080944	0,90964640
16,8	0,87084262	0,90969790
16,9	0,87088299	0,90973160
17	0,87092189	0,90974980
17,1	0,87095689	0,90975900
17,2	0,87098512	0,90976200
17,3	0,87100207	0,90976510
17,4	0,87100525	0,90976930
17,5	0,87099314	0,90977820
17,6	0,87096719	0,90979770
17,7	0,87092896	0,90983030
17,8	0,87088280	0,90988060
17,9	0,87083590	0,90994630
18	0,87079066	0,91002400
18,1	0,87074665	0,91011020
18,2	0,87018120	0,91020270
18,3	0,87050992	0,91029680
18,4	0,88120542	0,91038804
18,5	0,89208278	0,91047210
18,6	0,90207772	0,91047210
18,7	0,90972670	0,91054446
18,8	0,91376550	0,91060410
18,9	0,91666412	0,91067484
19	0,91895615	0,91066967
19,1	0,92073431	0,91061321
19,2	0,92244143	0,91048832
19,3	0,92412432	0,91029729
19,4	0,92530862	0,91005431
19,5	0,92624819	0,90978194
19,6	0,92707635	0,90949849
19,7	0,92775693	0,90921854
19,8	0,92828412	0,90895021
19,9	0,92870984	0,90869611

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
20	0,92881030	0,90845759
20,1	0,92844635	0,90823723
20,2	0,92764676	0,90803971
20,3	0,92651415	0,90786908
20,4	0,92545439	0,90772881
20,5	0,92469865	0,90762147
20,6	0,92444620	0,90755039
20,7	0,92449097	0,90751601
20,8	0,92460415	0,90751579
20,9	0,92462604	0,90754604
21	0,92448864	0,90760321
21,1	0,92427997	0,90768359
21,2	0,92407503	0,90778304
21,3	0,92399521	0,90789783
21,4	0,92408326	0,90802526
21,5	0,92432511	0,90816181
21,6	0,92468790	0,90830487
21,7	0,92513471	0,90845205
21,8	0,92563199	0,90860140
21,9	0,92617931	0,90875010
22	0,92675088	0,90889538
22,1	0,92732049	0,90903446
22,2	0,92788057	0,90916498
22,3	0,92840295	0,90928548
22,4	0,92887018	0,90936630
22,5	0,92928836	0,90937421
22,6	0,92969122	0,90924255
22,7	0,93006582	0,90892724
22,8	0,93041017	0,90904197
22,9	0,93071451	0,90949315
23	0,93097069	0,91002545
23,1	0,93119162	0,91069400
23,2	0,93136285	0,91128981
23,3	0,93150488	0,91188117
23,4	0,93162128	0,91241893
23,5	0,93171711	0,91290679
23,6	0,93178676	0,91332656
23,7	0,93184695	0,91368072
23,8	0,93189699	0,91397837
23,9	0,93193783	0,91418349

Lanjutan Tabel A

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
24	0,931972504	0,914276047
24,1	0,931993933	0,914295394
24,2	0,931991412	0,914246935
24,3	0,931971083	0,914147082
24,4	0,931942691	0,914004152
24,5	0,931908612	0,91381816
24,6	0,93186247	0,913617968
24,7	0,931800461	0,913437417
24,8	0,9317275	0,913232655
24,9	0,931644384	0,913042619
25	0,931552138	0,91289405
25,1	0,931455475	0,912788253
25,2	0,931370991	0,912411237
25,3	0,931120781	0,912311669
25,4	0,931961034	0,91282414
25,5	0,938528722	0,913589822
25,6	0,94910822	0,914836021
25,7	0,956919026	0,916413764
25,8	0,95959007	0,918075178
25,9	0,960359675	0,919490978
26	0,961884982	0,92071856
26,1	0,964208866	0,921774153
26,2	0,966916777	0,922770241
26,3	0,968648126	0,923517206
26,4	0,970040956	0,924029259
26,5	0,971931671	0,92432402
26,6	0,973574347	0,924439896
26,7	0,974382785	0,92440525
26,8	0,975172555	0,924227682
26,9	0,976339839	0,923950919
27	0,977636835	0,923585196

Detik	Homogenitas	
	1600 rpm	1300 rpm
27,1	0,978710454	0,923177077
27,2	0,979290666	0,922694154
27,3	0,979502161	0,922151142
27,4	0,979604364	0,921659988
27,5	0,979712927	0,92118337
27,6	0,979877419	0,920788293
27,7	0,980089133	0,920455484
27,8	0,980351374	0,920189808
27,9	0,980612718	0,919971681
28	0,980871731	0,919841348
28,1	0,981065399	0,919775304
28,2	0,981195934	0,919771473
28,3	0,981306791	0,91984083
28,4	0,98140752	0,91998512
28,5	0,98148556	0,92020677
28,6	0,98155264	0,92048338
28,7	0,98162255	0,92082784
28,8	0,98171323	0,92122156
28,9	0,98180780	0,92165139
29	0,98191041	0,92207345
29,1	0,98200892	0,92246545
29,2	0,98212103	0,92278275
29,3	0,98223910	0,92303702
29,4	0,98236078	0,92324700
29,5	0,98248332	0,92341446
29,6	0,98260960	0,92354130
29,7	0,98273240	0,92362774
29,8	0,98286507	0,92367650
29,9	0,98300724	0,92369117
30	0,98315448	0,92369117

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 jenis *impeller marine propeller* adalah *loop circulation* , terbentuk pula pola aliran yang tidak stabil disekitar dinding tangki yang dipengaruhi beberapa faktor antara lain kecepatan putar *impeller*, geometri tangki dan *impeller* serta jenis *impeller*.
2. Waktu Pencampuran (*mixing time*) tercapai pada detik ke 29,1 untuk variabel 1300rpm dan 19,2s untuk variabel 1600rpm dengan nilai indeks homogenitas yaitu 0,9224.
3. Pada detik ke 30 , untuk variabel kecepatan putar 1600rpm mencapai nilai indeks homogeitas maksimal yaitu 0,9832 dan untuk variabel kecepatan putar 1300rpm mencapai nilai indeks homogenitas maksimal yaitu 0,9237.

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 marine propeller ini, maka sebaiknya diperlukan simulasi dengan jenis impeller lain sebagai perbandingan.
3. Diperlukannya eksperimen pada penelitian ini untuk validasi hasil simulasi.

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]. 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.
- [4]. Geankoplis C. J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. Pearson Education, Inc.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Oldshue. J. Y., Fluid Mixing Technology. New York : McGraw-hill. 1983.
- [8]. P.J. Cullen, Chris D.Rielly, Nicolas Abatzoglou, dan Rodolfo J.Romanach. 2015.
Pharmaceutical Blending and Mixing. United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd.
- [9]. Pujaningsih, Retno. 2005. *Teknologi Fermentasi dan Peningkatan Kualitas Pakan*. Semarang: Laboratorium Teknologi Makanan Ternak Fakultas Peternakan UNDIP.
- [10]. Richardson J.F. dan J.H. Harker . 1999. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering, third edition, Volume 6 Design*, University of Wales Swansea, Department of Chemical and Biological Process Engineering.

- [11]. Sukmawedha, B.G.A dan Sari, A.R. *Simulasi Pola Alir di dalam Tangki Berpengaduk Menggunakan Side-Entering Impeller*. Surabaya : Skripsi S1 Teknik Kimia ITS. 2012.
- [12]. Tatterson, Gary B. 1991. *Fluid Mixing and Gas Dispersion in Agitated Tanks*. McCraw-Hill, Inc. pp. 286.
- [13]. Walas, Stanley M . 1988 . *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- [14]. Wessselingh, J. A. 1975. *Mixing of Liquids in Cylindrical Storage Tanks with Side-Entering Propeller*. *Journal of Chemical Engineering Science*, 30 (1975) 973-981.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Anugrah Budi Cahyani, anak sulung dari dua bersaudara pasangan Bapak Edy Suprayitno dan Ibu Lucky Julistiana ini lahir di Surabaya pada tanggal 23 September 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDI Al Azhar 12 Cikarang Baru (2000-2006) , SMPN 1 Tambun Selatan (2006-2009) dan SMAN 1 Tambun Selatan (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 mengikuti dalam program kreativitas mahasiswa bidang kewirausahaan (PKM-K) yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2013 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 2014-2015.. Pada tahun 2015, penulis melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja , Palembang. Penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk melakukan penelitiannya dan menyelesaikan Pra Desain Pabrik “Gula Kristal Putih dari Tebu”

DATA PRIBADI PENULIS

Nama	Anugrah Budi Cahyani
No HP	082113881350
Email	Anugrahb.cahyani@gmail.com