



**SKRIPSI – TK 141581**

**SIMULASI WAKTU PENCAMPURAN DALAM TANGKI  
BERPENGADUK SAMPING BERBASIS KDF**

**Oleh:**

**Nadia Mumtazah  
NRP. 0221 1440 000 001**

**Ainurazis Ramadhana Putraninghadi  
NRP. 0221 1440 000 107**

**Dosen Pembimbing:**

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

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

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





**FINAL PROJECT – TK 141581**

**MIXING TIME SIMULATION OF SIDE-ENTRY MIXER  
TANK BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS  
METHOD**

**By:**

**Nadia Mumtazah  
NRP. 0221 1440 000 001**

**Ainurazis Ramadhana Putraninghadi  
NRP. 0221 1440 000 107**

**Advisor**

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

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

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



# LEMBAR PENGESAHAN

## SIMULASI WAKTU PENCAMPURAN DALAM TANGKI BERPENGADUK SAMPING BERBASIS KDF

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

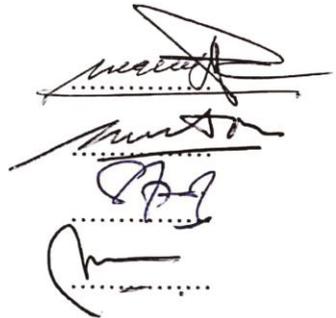
Oleh:

**AINURAZIS RAMADHANA P.**  
**NADIA MUMTAZAH**

**02211440000107**  
**02211440000001**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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





## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Skripsi kami yang berjudul:

### **“SIMULASI WAKTU PENCAMPURAN DALAM TANGKI BERPENGADUK SAMPING BERBASIS KDF”**

Laporan Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Strata-1 di Departemen 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 Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
5. Ibu Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng dan Ibu Suci Madha Nia, S.T., M.T., selaku dosen penguji Seminar Proposal Skripsi, Ujian *Poster Paper*, dan Seminar Skripsi.
6. Bapak Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D. selaku dosen penguji Ujian *Poster Paper* dan Seminar Skripsi.
7. Seluruh dosen Teknik Kimia ITS atas semua ilmu serta bimbingan selama kami menempuh pendidikan S1. Karyawan

Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, Bang Farid Indra, S.T., atas dedikasinya dalam membantu segala kebutuhan eksperimen skripsi ini.

8. Ni'am Nisbatul Fathonah S.T., yang mengawasi dan memberikan pengarahan saat menjalankan penelitian.
9. Teman-teman kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang telah berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir.
10. Teman-teman angkatan K-54 Teknik Kimia ITS yang memberi semangat dan dukungan.
11. Beberapa pihak lain yang tidak bisa kami paparkan satu persatu yang telah membantu kami.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata kami selaku penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## **SIMULASI WAKTU PENCAMPURAN DALAM TANGKI BERPENGADUK SAMPING BERBASIS KDF**

**Nama** : **Nadia Mumtazah**  
(0221144000001)  
**Ainurazis Ramadhana Putraninghadi**  
(02211440000107)

**Pembimbing** : **Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.**  
**Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.**

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu pencampuran pada tangki berpengaduk samping dengan metode Komputasi Dinamika Fluida (KDF), mengetahui pengaruh kecepatan putar *propeller* terhadap waktu pencampuran dengan metode KDF, dan mengetahui hasil validasi model simulasi yang dilakukan terhadap hasil eksperimen. Penelitian ini dilakukan pada tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk *flat* dengan diameter 60 cm. Pengaduk yang digunakan adalah *propeller* 6 cm. Fluida yang digunakan adalah air yang diberi *tracer* berupa HCl 37% di atas tangki. Variabel kecepatan putar yang digunakan adalah 100, 200, 300, dan 400 rpm. Simulasi dilakukan menggunakan metode KDF atau CFD FLUENT 17.1 dengan permodelan turbulensi k- $\epsilon$  RNG dan kondisi *singlephase* yang dilanjutkan *species transport*. Letak titik pengukuran disesuaikan dengan letak titik pengamatan pada eksperimen. Titik pengamatan digunakan untuk mengamati perubahan fraksi massa HCl hingga error mencapai kurang lebih 10% Setelah melakukan tahap *pre-processing*, *solving*, dan *post-processing* pada simulasi, data yang diperoleh dianalisa. Waktu pencampuran untuk diameter *propeller* 6 cm pada kecepatan 100, 200, 300, dan 400 rpm berturut-turut adalah 189,42; 159,64; 82,60; dan 66,33 detik. Pada hasil yang kedua adalah semakin tinggi kecepatan putar *propeller* pada suatu akan menyebabkan waktu pencampuran lebih cepat tercapai dengan metode KDF. Jika

dibandingkan eksperimen, error yang didapatkan untuk diameter *propeller* 6 cm pada kecepatan 200, 300, dan 400 rpm berturut-turut adalah 40,21; 48,70; dan 31,62 persen.

**Kata kunci: Homogenitas, KDF, *Propeller*, Pengaduk Samping, Waktu Pencampuran**

# MIXING TIME SIMULATION OF SIDE-ENTRY MIXER TANK BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHOD

**Name** : **Nadia Mumtazah**  
(0221144000001)  
**Ainurazis Ramadhana Putraninghadi**  
(02211440000107)

**Advisors** : **Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.**  
**Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.**

## ABSTRACT

The objective for this study is to investigate mixing time of side-entry mixer tank and the influence of the rotational speed of propeller on mixing time by Computational Fluid Dynamic (CFD) method. This study also validates the simulation model and the result of the experiment which has been done in previous study. The case in this study is in cylinder flat-bottom tank whose diameter is 40 cm. *Impeller* used in this study is propeller whose diameter is 4 cm. Fluid which is used is water and HCL 37% as a tracer. This tracer was injected on the surface of water. The speed of propeller is 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, and 400 rpm. Simulation is done using CFD FLUENT 17.1 with turbulence model is k- $\epsilon$  RNG. The conditions in this simulation is singlephase then continued using species transport. The location of monitoring point is appropriated with monitoring point in previous experiment. Monitoring point is used to observe the mass fraction in each monitoring point until the constant condition is reached. After the pre-processing, solving and post-processing steps in simulation is done, the result of simulation is analyzed. The result of the simulation is the mixing time in side-entry mixer tank with 6 cm diameter of propeller for 100, 200, 300, and 400 rpm in a row is 189,42; 159,64; 82,60; and 66,33 second. From these results, higher rotational speed of propeller makes the mixing time is

shorter in CFD method. The third result is the simulation model which has been done is not valid compared by the previous experiment. The error in 6 cm propeller for 200, 300, and 400 rpm in a row is 40,21; 48,70; and 31,62 percent.

**Keywords: CFD, Homogeneity, Mixing Time, Propeller, Side-Entry**

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan .....	2
I.4 Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1 Pencampuran.....	3
II.2 Pengadukan Samping.....	4
II.3 Jenis Pengaduk.....	5
II.4 Propeller.....	6
II.5 Waktu Pencampuran .....	6
II.6 Metode Penentuan Waktu Pencampuran.....	7
II.7 Komputasi dinamika Fluida .....	9
II.8 Persamaan Model Aliran Fluida.....	11
II.9 Pemodelan <i>Propeller</i> .....	17
II.10 Penelitian Terdahulu .....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
III.1 Sistem yang Dipelajari.....	21
III.2 Prosedur Simulasi KDF .....	24
III.3 Variabel Percobaan.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	37
IV.1 Waktu Pencampuran.....	37
IV.2 Validasi Data .....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	49
V.1 Kesimpulan .....	49
V.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xv

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Bentuk pengaduk <i>propeller</i> .....	6
Gambar III. 1 Sistem pada eksperimen <i>side entering mixer</i> .....	21
Gambar III. 2 Geometri dan dimensi <i>propeller</i> diameter 6 cm.....	22
Gambar III. 3 Geometri tangki, <i>impeller</i> , dan <i>probe</i> tampak samping ..	23
Gambar III. 4 Geometri tangki, <i>impeller</i> , dan <i>probe</i> tampak atas .....	24
Gambar III. 5 Geometri <i>Stationary Zone</i> Tangki Diameter 60 cm .....	25
Gambar III. 6 Geometri <i>Moving Zone</i> Tangki Diameter 60 cm .....	26
Gambar III. 7 Grafik <i>x-velocity</i> pada Iterasi 0 Hingga 3000 pada <i>Grid</i> Tipe D, <i>Grid</i> Tipe E, dan <i>Grid</i> Tipe F .....	28
Gambar III. 8 Grafik <i>y-velocity</i> pada Iterasi 0 Hingga 3000 pada <i>Grid</i> Tipe D, <i>Grid</i> Tipe E, dan <i>Grid</i> Tipe F .....	28
Gambar III. 9 <i>Meshing Stationary Zone</i> Tangki Diameter 60 cm .....	29
Gambar III. 10 <i>Meshing Moving Zone</i> Tangki Diameter 60 cm .....	30
Gambar III. 11 Skema yang digunakan pada <i>Solving</i> .....	30
Gambar IV. 1 Pola Alir pada Simulasi <i>Propeller</i> 6 cm dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm; (c) 300 rpm; dan (d) 400 rpm Jenis <i>Grid Hexagonal</i>	39
Gambar IV. 2 Pola Alir pada Simulasi <i>Propeller</i> 6 cm dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm; (c) 300 rpm; dan (d) 400 rpm Jenis <i>Grid Tetrahedral</i> .....	40
Gambar IV. 3 Fraksi Massa pada <i>Titik pengamatan</i> 1, 2, dan 3 pada <i>Propeller</i> 6 cm 100 rpm.....	41
Gambar IV. 4 Fraksi Massa pada <i>Titik pengamatan</i> 1, 2, dan 3 pada <i>Propeller</i> 6 cm 200 rpm.....	42
Gambar IV. 5 Hasil Pembacaan <i>Probe</i> pada <i>Propeller</i> 6 cm 200 rpm .....	42
Gambar IV. 6 Fraksi Massa pada <i>Titik pengamatan</i> 1, 2, dan 3 pada <i>Propeller</i> 6 cm 300 rpm.....	43
Gambar IV. 7 Hasil Pembacaan <i>Probe</i> pada <i>Propeller</i> 6 cm 300 rpm .....	43
Gambar IV. 8 Fraksi Massa pada <i>Titik pengamatan</i> 1, 2, dan 3 pada <i>Propeller</i> 6 cm 400 rpm.....	44

Gambar IV. 9 Hasil Pembacaan <i>Probe</i> pada <i>Propeller</i> 6 cm 400 rpm .....	44
Gambar IV. 10 Waktu Pencampuran <i>Propeller</i> 6 cm pada 100, 200, 300, dan 400 rpm .....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Perbedaan MRF dan <i>Sliding Mesh</i> .....	18
Tabel III. 1 Ukuran geometri sistem tangki berpengaduk <i>side-entering mixer</i> (SEM) .....	22
Tabel III. 2 Spesifikasi <i>Air</i> .....	23
Tabel III. 3 Spesifikasi HCl .....	23
Tabel III. 4 Dimensi tangki dengan <i>side-entering mixer</i> (SEM) tampak samping .....	24
Tabel III. 5 Dimensi tangki dengan <i>side-entering mixer</i> (SEM) tampak atas .....	24
Tabel III. 6 Karakteristik <i>Grid</i> Jenis <i>Hexagonal Grid</i> Tipe D, <i>Grid</i> Tipe E, dan <i>Grid</i> Tipe F .....	26
Tabel III. 7 Koordinat Titik Pengamatan pada <i>Grid Independent Test</i> .....	27
Tabel III. 8 Karakteristik <i>Grid</i> Jenis Tetragonal pada <i>Stationary Zone</i> .....	30
Tabel III. 9 <i>Set Up</i> yang Digunakan pada <i>Solving</i> pada Kondisi <i>Singlephase</i> dan <i>Species transport</i> .....	31
Tabel III. 10 <i>Solution</i> yang Digunakan pada <i>Solving</i> pada Kondisi <i>Singlephase</i> , <i>Singlephase-transient</i> dan <i>Multiphase-transient</i> .....	33
Tabel III. 11 Koordinat dan Titik Pengamatan .....	35
Tabel IV. 1 Jumlah Iterasi pada Kondisi <i>Steady</i> .....	37
Tabel IV. 2 Kecepatan Ujung <i>Propeller</i> pada Kondisi <i>Steady</i> .....	38
Tabel IV. 3 Fraksi Massa HCl saat Waktu Pencampuran Tercapai .....	45
Tabel IV. 4 Waktu Pencampuran Metode KDF dan Eksperimen .....	46
Tabel IV. 5 Hasil Perhitungan <i>Time Step</i> .....	47

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pengadukan bertujuan untuk mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat meningkatkan terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas, baik yang disertai reaksi kimia maupun tidak. Waktu pengadukan merupakan salah satu parameter yang biasanya digunakan dalam mengevaluasi performa dan hidrodinamika dalam tangki berpengaduk, dimana hal ini bergantung pada sensitivitas dari selektivitasnya, sifak fisik, pemisahan, dan atau stabilitas produknya itu sendiri. Tangki berpengaduk samping memerlukan investasi dan operasi yang rendah karena *impeller* yang digunakan relatif sangat kecil dibandingkan diameter tangki. Disamping itu, *propeller* digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi dengan arah aksial serta untuk cairan yang memiliki viskositas rendah dan tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki.

Pembuatan desain pada skala industri lebih sulit dan lebih mahal jika dilakukan dengan metode yang sama. Sehingga diperlukan simulasi desain tangki berpengaduk. Dalam melakukan simulasi, diperlukan model yang valid melalui proses validasi dengan data eksperimen. Telah dilakukan penelitian mengenai waktu pengadukan pada tangki tabung alas datar berpengaduk samping dengan *propeller*. Hasil penelitan sebelumnya membuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan putar *impeller* maka semakin cepat pula waktu pengadukan dicapai. Pada dasarnya, aksi pengadukan dalam tangki berpengaduk telah dapat diamati melalui eksperimen yang telah dilakukan.

Simulasi dapat dilakukan dengan metode komputasi dinamika fluida (KDF). Metode tersebut merupakan analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Penggunaan KDF lebih fleksibel dan mudah

untuk memodifikasi konfigurasi dan dimensi tangki, orientasi, dan kecepatan *impeller* serta properti fluida

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana waktu pencampuran pada tangki berpengaduk samping dengan metode KDF?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putar *propeller* terhadap waktu pencampuran dengan metode KDF?
3. Bagaimana hasil validasi teknik dan model simulasi yang telah dilakukan terhadap hasil penelitian sebelumnya?

## **I.3 Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan waktu pencampuran pada tangki berpengaduk samping dengan metode KDF.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan putar *propeller* terhadap waktu pencampuran dengan metode KDF.
3. Mengetahui hasil validasi teknik dan model simulasi yang telah dilakukan terhadap hasil penelitian sebelumnya.

## **I.4 Manfaat**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai tangki berpengaduk samping yang berguna untuk tujuan desain dan operasi yang lebih optimum pada skala industri.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Pencampuran**

Pencampuran adalah suatu proses reduksi atau pengurangan inhomogenitas untuk mendapatkan hasil proses yang diinginkan. Inhomogenitas dapat berupa konsentrasi, fase, atau suhu. (Paul, 2004).

Proses pencampuran memiliki beberapa tujuan antara lain untuk mendistribusikan *partikel* secara merata, membentuk *suspense* antara padat dan cair, menghindari terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat mempercepat terjadinya proses sedimentasi partikel, mempercepat proses pencampur fluida karena dapat mempercepat terjadinya perpindahan massa dan energi yang berupa panas.

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.
4. Viskositas. Besarnya viskositas menentukan pemilihan jenis *impeller*. Untuk viskositas cairan lebih kecil dari 2000 cP digunakan *impeller* tipe *propeller*, untuk viskositas antara 2000 cP – 50000 cP digunakan *impeller* tipe turbin, untuk viskositas 10000 cP – 1000000 cP digunakan *impeller* tipe anchor, helical ribbon dan paddle, untuk viskositas diatas 1 juta digunakan pencampuran khusus seperti banburg mixer, keaders, extrudes, sigma mixer, dan beberapa tipe lainnya.

5. Jenis bahan yang dicampur.
6. Urutan pencampuran.
7. Suhu dan tekanan.

## II.2 Pengadukan Samping

Pengadukan samping adalah *mixer* yang masuk ke tangki atau *vessel* dari sisi samping. Pengadukan samping 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 liquid paling rendah. Pada pengadukan samping ada elemen fisik dalam tangki yang memaksa isi naik dan turun kembali, ini yang menunjukkan kerja dari pencampuran itu sendiri, homogenitas dan keseragaman suhu.

Keuntungan dari pengadukan samping 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*. Banyak pengadukan samping menggunakan *belt-drive*, pengurangan kecepatan dan *pillow-block bearing*. Pengadukan samping 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. Pengadukan samping yang digunakan untuk zat cair yang mudah terbakar, perlindungan khusus harus digunakan pada desain dan perawatan dari *shaft seal*. Pengadukan samping biasanya dioperasikan dengan kecepatan putar 420 atau 280 rpm, kecuali untuk *pulp and paper industry*.

Dalam penelitian Rushton (1954), sudut optimum *impeller* pada tangki penyimpanan minyak seperti gasoline, yakni 7° dan 12° dengan arah sudut kekiri mengikuti arah jarum jam. Pada kondisi seperti ini, menunjukkan pencampuran yang baik. Kegagalan pola alir yang tidak diinginkan menghasilkan *tangensial swirl flow* atau

yang sering disebut dengan *vortex*. Yaitu aliran yang berbentuk seperti pusaran yang dapat meningkatkan waktu dalam pencampuran.

Adapun beberapa rekomendasi mengenai posisi *impeller* pengadukan samping yaitu:

1. *Impeller* terletak 1 s/d 1.5 kali diameter *impeller* dari dinding tangki.
2. Sudut masuk *impeller* yang direncanakan sekitar 8° s/d 30°, tetapi biasanya yang optimum 10°.

### **II.3 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 (Walas 1988). 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.

Pencampuran di dalam tangki pengaduk terjadi karena adanya gerak rotasi dari pengaduk dalam fluida. Gerak pengaduk ini memotong fluida tersebut dan dapat menimbulkan arus 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.

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.
3. Pengaduk aliran campuran, yang merupakan gabungan dari kedua jenis pengaduk diatas. (Geankoplis, 2013).

#### **II.4 Propeller**

Kelompok ini biasa digunakan untuk kecepatan pengadukan tinggi dengan arah aliran aksial. Pengaduk ini dapat digunakan untuk cairan yang memiliki viskositas rendah dan tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki. Kapasitas sirkulasi yang dihasilkan besar dan sensitif terhadap beban *head*. Dalam perancangan *propeller*, luas sudut biasa dinyatakan dalam perbandingan luas area yang terbentuk dengan luas daerah disk. Nilai nisbah ini berada pada rentang 0.45 sampai dengan 0.55. Pengaduk *propeller* terutama menimbulkan aliran arah aksial, arus aliran meninggalkan pengaduk secara kontinyu melewati fluida ke satu arah tertentu sampai dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki.



**Gambar II. 1** Bentuk pengaduk *propeller*

#### **II.5 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. (Sinnott, 1999).

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

1. Yang berkaitan dengan alat, seperti:
  - a. ada tidaknya *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 (*inciclined*) 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, pemilihan variabel dilakukan sesuai dengan kebutuhan pengamatan yang akan dilakukan.

## II.6 Metode Penentuan Waktu Pencampuran

Metode untuk menentukan waktu pencampuran dapat dilakukan dengan metode eksperimen maupun simulasi. Pada metode eksperimen terdapat dua metode untuk mendapatkan waktu pencampuran dalam suatu tangki. Metode tersebut menggunakan pengukuran konduktivitas dan *colorimetric*. Eksperimen

penentuan waktu pencampuran dapat dilakukan dengan mengukur konsentrasi terhadap waktu ketika larutan garam NaCl (*tracer*) setelah ditambahkan ke dalam tangki berpengaduk. Untuk mengukur konsentrasi NaCl terhadap fungsi waktu maka digunakan satu atau pun dua *probe*. *Probe* biasanya diletakkan di dekat dinding tangki atau di tengah antara dinding tangki dan *shaft*. *Probe* juga biasanya diletakkan di daerah yang memiliki kecepatan fluida rendah sehingga pencampuran tercapai terakhir. Pada eksperimen masing-masing *probe* dihubungkan dengan konduktivitasmeter yang terhubung dengan komputer. Data konduktivitas yang didapat dari *probe* berupa konduktivitas akan dinormalisasi untuk mengeliminasi efek karena perbedaan tegangan *probe*. Waktu pencampuran dengan metode ini didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk menormalisasikan *output* dari *probe* untuk mencapai *error* kurang lebih 5% dari konsentrasi akhir. Metode ini memiliki kekurangan yaitu *probe* dapat mempengaruhi aliran fluida.

Metode yang kedua dalam eksperimen adalah *colorimetric method*. Metode tersebut adalah menggunakan pewarna dan waktu pencampuran ditentukan dari perubahan warna dari indikator selama reaksi asam-basa. Biasanya pewarna ditambahkan secara cepat pada permukaan fluida. Eksperimen ini direkam dengan menggunakan kamera. Kamera tersebut merekam perubahan warna dari satu warna ke warna yang lain dalam laju 30 fps. Kelemahan dari metode ini adalah memerlukan reaktor yang transparan, dimana reaktor tersebut jarang digunakan dalam skala industri. Selain itu pengamatan secara kualitatif mengakibatkan *error* lebih mudah terjadi.

Metode yang ketiga adalah *laser induced fluorescence (LIF)*. LIF adalah metode spektrosopi yang digunakan untuk mempelajari struktur molekul, mendeteksi spesies tertentu, dan visualisasi serta pengukuran aliran. Spesies yang digunakan akan memancarkan laser. Spesies tersebut biasanya dalam satuan nanodetik bahkan mikrodetik akan memancarkan cahaya pada panjang gelombang yang lebih Panjang dari gelombang eksitasi.

Proses ini akan ditangkap oleh kamera untuk menilai karakteristik pencampuran. Waktu pencampiran terhitung sebagai waktu yang diperlukan untuk mendapatkan warna seragam. Kelemahan metode ini sama metode *colorimetric method*. Namun lebih akurat dalam satuan waktu (Chomcharn, 2009).

Dalam simulasi juga dapat menentukan waktu pencampuran dengan beberapa metode. Salah satu metodenya adalah dengan menggunakan *multiphase* dengan mendefinisikan beberapa fase. Metode ini dilakukan apabila jenis liquid yang digunakan memiliki karakteristik yang berbeda (Al-Qaessi, 2009).

Metode lain untuk menentukan waktu pencampuran adalah dengan menggunakan model *species transport*. Model ini biasa digunakan setelah kondisi *steady state* tercapai. Selain itu model ini digunakan untuk fluida yang memiliki karakteristik yang serupa (Marshall, 2001).

## II.7 Komputasi dinamika Fluida

*Komputasi Dinamika Fluida* (KDF) 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 KDF 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 KDF tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Suatu kode KDF terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*. *Pre-processing* meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program KDF dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh *solver*. Langkah-langkah dalam tahap ini:

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

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

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

1. Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan pada semua kontrol volume domain.
2. Diskretisasi persamaan integral menjadi sistem persamaan aljabar.
3. 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.8 Persamaan Model Aliran Fluida

FLUENT memiliki beberapa persamaan yang menyediakan model untuk aliran fluida dan perintah dalam pendefinisian dan penggunaan fluida. Fenomena aliran dapat dimodelkan dengan persamaan matematis yaitu persamaan kontinuitas (hukum kekekalan massa) dan persamaan momentum (hukum kekekalan momentum).

### II.8.1 Aliran Laminer

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 ( $\rho$ ) adalah konstan dan persamaan (2.2) menjadi:

$$\frac{\partial(v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(v_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

Atau persamaan (2.1) menjadi:

$$\nabla(\rho v) = 0 \quad (2.4)$$

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.

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

Komponen x:

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

Komponen y:

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

Komponen z:

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

## II.8.2 Aliran Turbulen Satu Fase

Aliran turbulen memiliki dimodelkan dengan kecepatan fluida yang berfluktuasi. Campuran fluktuasi ini diubah secara kuantitatif dengan persamaan momentum, energi, dan konsentrasi spesies serta menyebabkan perubahan kualitatif menjadi fluktuatif. Persamaan yang telah dimodifikasi memiliki variabel tambahan yang tidak diketahui, dan model turbulen diperlukan untuk menentukan variabel tersebut agar mengetahui kuantitasnya. Pada Reynold terata-rata, Persamaan Navier-Stokes akan diubah sebagai komponen terata-rata dan fluktuatif. Pada komponen kecepatan maka sebagai berikut:

$$v_i = \bar{v}_i + v'_i \quad (2.8)$$

Pada  $\bar{v}_i$  adalah komponen rerata dan  $v'_i$  adalah komponen fluktuatif atau suku turbulensi. Sehingga pada persamaan 2.5 hingga 2.7 menjadi sebagai berikut

Komponen x:

$$\rho\left(\frac{\partial(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial t} + (\bar{v}_x + v'_x) \frac{\partial(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial x} + (\bar{v}_y + v'_y) \frac{\partial(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial y} + (\bar{v}_z + v'_z) \frac{\partial(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial z}\right) = -\frac{\partial(\bar{p} + p')}{\partial x} + \left(\frac{\partial^2(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\bar{v}_x + v'_x)}{\partial z^2}\right) + \rho G_x \quad (2.9)$$

Komponen y:

$$\rho \left( \frac{\partial(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial t} + (\overline{v}_y + v'_y) \frac{\partial(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial x} + (\overline{v}_y + v'_y) \frac{\partial(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial y} + (\overline{v}_z + v'_z) \frac{\partial(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial(\overline{p} + p')}{\partial y} + \left( \frac{\partial^2(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\overline{v}_y + v'_y)}{\partial z^2} \right) + \rho G_y \quad (2.10)$$

Komponen z:

$$\rho \left( \frac{\partial(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial t} + (\overline{v}_y + v'_y) \frac{\partial(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial x} + (\overline{v}_y + v'_y) \frac{\partial(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial y} + (\overline{v}_z + v'_z) \frac{\partial(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial(\overline{p} + p')}{\partial z} + \left( \frac{\partial^2(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\overline{v}_z + v'_z)}{\partial z^2} \right) + \rho G_z \quad (2.11)$$

Komponen baru yang ditambahkan dari aliran laminar disebut juga suku turbulen atau *Reynold Stress*.

$$\overline{\tau_{xi}} = \rho \overline{v'_x v'_i} \quad (2.12)$$

Dalam penyelesaian suku turbulen terdapat berbagai macam model yaitu sebagai berikut:

A. *Direct Numerical Simulation* (DNS)

Model ini adalah model simulasi dimana persamaan Navier-Stokes secara numerik diselesaikan tanpa adanya suku turbulensi. Hal ini berarti seluruh persamaan dalam komponen rerata dan turbulensi harus diselesaikan secara komputasi dalam mesh, dari skala desipitasi terkecil hingga dalam skala integral.

B. *Large Eddy Simulation* (LES)

Pada LES, *Reynold Stress* diselesaikan dengan *Boussinesq hypothesis*.

$$\overline{\tau_{ij}} = -2\mu_t \overline{S_{ij}} + \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} \quad (2.13)$$

C. RANS

Pada RANS, *Reynold Stress* diselesaikan dengan persamaan berikut

$$\overline{\tau_{ij}} = -2\mu_t \overline{S_{ij}} + \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.14)$$

Pada penyelesaian permodelan  $\mu_t$  dibedakan berbagai macam persamaan. Salah satu model adalah K-epsilon

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.15)$$

### II.8.2.1 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 k – ε merupakan model semi empiris berbasis model persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) 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:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.16)$$

dan

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2.17)$$

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

$$G_k = -\rho u_1 u_j \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \quad (2.18)$$

$G_k$  dievaluasi terhadap konsistensinya, sehingga

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (2.19)$$

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

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (2.20)$$

$G_b$  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,

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.21)$$

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

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.22)$$

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

$$C_{3\varepsilon} = \tanh \left| \frac{v}{u} \right| \quad (2.23)$$

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 pemodelan 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  $k$ .

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (2.24)$$

dimana  $Mt$  adalah bilangan Mach didefinisikan sebagai  $Mt = \sqrt{\frac{k}{a^2}}$ ,  
 dimana  $a = \sqrt{\gamma RT}$ ,  $\mu_t$ , turbulent atau eddy viscosity dihitung  
 melalui kombinasi  $k$  dan  $\mathcal{E}$  melalui persamaan.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\mathcal{E}} \quad (2.25)$$

dengan  $C_\mu$  adalah konstanta sebesar 0,09.

$C1\mathcal{E}, C2\mathcal{E}$  = konstanta berturut-turut 1,44; 1,92

$\sigma k, \sigma \mathcal{E}$  = bilangan turbulent Prandtl untuk  $k$  dan  $\mathcal{E}$  berturut-turut 1;  
 1,3

$Sk, S\mathcal{E}$  = user defined source

### II.8.3 Aliran Turbulen Dua Fase

Salah satu permodelan dua fase adalah model *Species Transport*. Model ini digunakan untuk fluida dengan densitas yang konstan dan aliran *non-compressible*. Penyelesaian dari persamaan ini adalah untuk menghitung perpindahan dan konsentrasi lokal spesies.

Penggunaan model ini pada FLUENT adalah memprediksikan fraksi massa lokal pada masing-masing spesies,  $Y_i$ , pada larutan melalui persamaan difusi secara konveksi untuk spesies ke- $i$ . Persamaan umumnya adalah pada persamaan (2.26)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2.26)$$

Dimana  $R_i$  adalah rate bersih dari produksi spesies  $I$  dengan reaksi kimia dan  $S_i$  adalah reaksi dari pembentukan dengan penambahan fase terdispersi maupun karena pendeskripsian sesuai yang diinginkan. Persamaan dalam bentuk ini akan diselesaikan untuk spesies ke  $N-1$  dimana  $N$  adalah jumlah total daripase fluida spesies kimia yang ada dalam sistem. Karena fraksi massa dari spesies merupakan penjumlahan keseluruhan, fraksi massa ke  $N$  ditentukan sebagai penjumlahan dari  $N-1$ . Untuk meminimalisir *error* numerik, spesies ke  $N$  seharusnya ditentukan sebagai fraksi massa terbesar dalam sistem (Bakker, 2006).

## II.9 Pemodelan *Propeller*

*Sliding mesh* merupakan pemodelan 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*.

*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), *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 MRF tidak mengalami deformasi *meshing*. Perbedaan metode MRF dan *sliding mesh* dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

**Tabel II. 1** Perbedaan MRF dan *Sliding Mesh*

<b>MRF</b>	<b>Sliding Mesh</b>
<i>Steady state simulation possible</i>	<i>Transient simulations are necessary</i>
<i>Low computational cost</i>	<i>High computational cost</i>
<i>Effect of impeller position relative to tank internals not accounted for</i>	<i>Simulation of actual impeller rotation and change in impeller position</i>
<i>Suitable for steady state analysis</i>	<i>Suitable for analysis of unsteady operations such as startup or shutdown</i>
<i>Can accurately predict characteristics like power draw and flow number</i>	<i>Can accurately predict characteristics like power draw and flow number</i>
-	<i>Slightly better accuracy while predicting blend time</i>

## **II.10 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu mempelajari tentang penentuan waktu pencampuran dengan dua metode eksperimen yaitu dengan metode konduktivitas dan metode visualisasi (Chomcharn, 2009). Pada penelitian didapatkan hasil eksperimen bahwa dengan kedua metode memiliki waktu pencampuran yang serupa. Namun dalam cara mendapatkannya, metode konduktivitas lebih bersifat kuantitatif daripada metode visualisasi.

Pada penelitian Elqotbi, 2012, melakukan simulasi dengan metode KDF mengenai permodelan dari pencampuran dua fase. Simulasi ini menggunakan model mixture atau multifase. Dalam penelitian ini dibuat grafik perbandingan konsentrasi antara eksperimen dan simulasi terhadap waktu. Model yang dibuat mendapatkan hasil *valid* untuk dua jenis fase dan tidak *valid* untuk kedua fase lainnya.

Kemudian pada tahun 2017 dilakukan penelitian *top-entry mixer* dan *side-entry mixer* oleh Mahdania. Penelitian ini membandingkan hasil simulasi dari pola air kedua jenis pengaduk.

Pada *top-entry mixer* didapatkan konfigurasi *double-loop circulation* sedangkan pada *side-entry mixer* didapatkan konfigurasi *one-loop circulation*. Sehingga terdapat lebih sedikit *dead-zone*.

Pada tahun yang sama juga dilakukan penelitian yang mempelajari tentang simulasi waktu pencampuran (Susanti, 2017). Waktu pencampuran dapat diperoleh dengan model *species transport* dengan menonaktifkan perhitungan aliran untuk hasil yang lebih cepat. Pada simulasi ini digunakan tangki alas datar dengan *impeller* jenis turbin.

Selain itu juga terdapat penelitian yang mempelajari mengenai pola alir pada tangki alas datar dengan *impeller* jenis *propeller* oleh Yukh dan Murtadho pada tahun 2017. Kemudian terdapat penelitian untuk menentukan waktu pencampuran pada tangki alas datar dengan *impeller* jenis yang sama yaitu *propeller* oleh Dimas dan Naufal. Dengan data tersebut maka diperlukan simulasi dengan sistem serupa untuk dapat mengamati fenomena yang terjadi secara lebih detail.

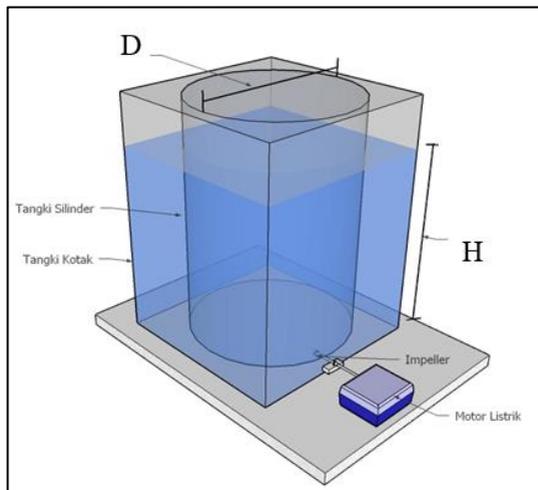
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## 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 KDF menggunakan FLUENT®

### III.1 Sistem yang Dipelajari

Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah tangki silinder dengan dasar datar (*flat bottomed cylindrical tank*) dengan ukuran ilustrasi sistem tangki dengan *side-entering mixer* (SEM) seperti pada **Gambar III.1**.



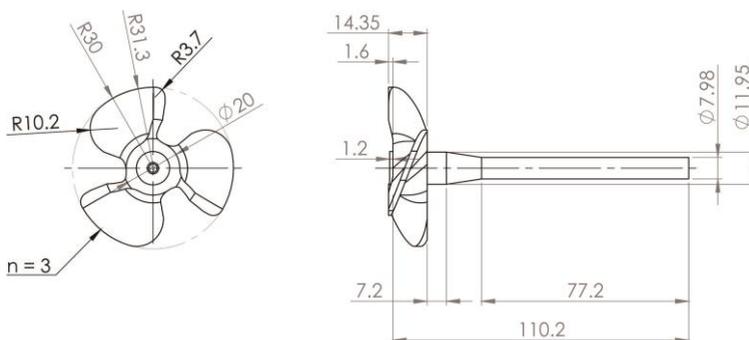
**Gambar III. 1** Sistem pada eksperimen *side entering mixer*

**Tabel III. 1** Ukuran geometri sistem tangki berpengaduk *side-entering mixer* (SEM)

Tangki	Diameter (cm)	Tinggi (cm)
Tangki Diameter 60 cm	60	60

Pada sistem ini digunakan *impeller* jenis *propeller*. *Propeller* 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 6 cm.

Bentuk *propeller* yang digunakan pada simulasi didapatkan dengan metode *3D scanning* dari *propeller* yang digunakan pada saat eksperimen untuk mendapatkan bentuk yang serupa. Sehingga dapat meningkatkan keakuratan dari hasil simulasi yang dilakukan. Bentuk geometri dari *propeller* yang merupakan hasil *3D scanning* ditunjukkan pada **Gambar III.2**.



**Gambar III. 2** Geometri dan dimensi *propeller* diameter 6 cm

Sistem yang digunakan memiliki 2 jenis fluida. Air yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi seperti di **Tabel III.2**.

**Tabel III. 2** Spesifikasi Air

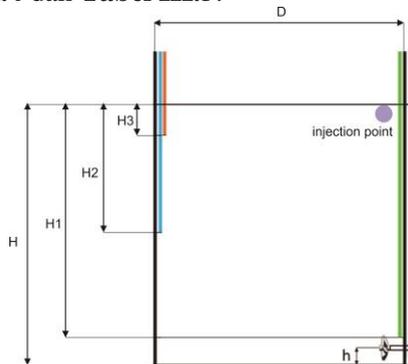
Liquid	Air
Suhu	32 °C
Densitas	998,2 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas	0,001003 kg/m.s.

Sebagai partikel penjejak (*tracer particle*) untuk melihat waktu pencampuran (*mixing time*), digunakan HCL teknis yaitu, yang mana memiliki spesifikasi seperti pada **Tabel III.3**.

**Tabel III. 3** Spesifikasi HCl

Liquid	HCl
Konsentrasi	37%
Suhu	32° C
Densitas	1180 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas	0,00168 kg/m.s.

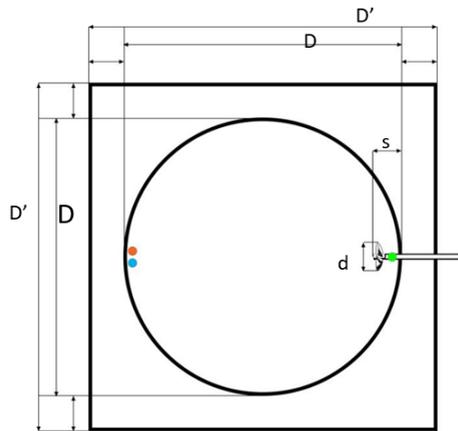
HCl pada FLUENT® didefinisikan dengan melakukan *patch* yang dibuat menyerupai kondisi eksperimen. Titik pengamatan atau *probe* pada geometri tangki dengan *side-entering mixer* (SEM) dapat dilihat seperti pada **Gambar III.3** dan **Gambar III.4** untuk tampak samping dan atas serta dimensinya pada **Tabel III.4** dan **Tabel III.5**.



**Gambar III. 3** Geometri tangki, *impeller*, dan *probe* tampak samping

**Tabel III. 4** Dimensi tangki dengan *side-entering mixer* (SEM) tampak samping

	D [cm]	D' [cm]	h [cm]	H1/H [-]	H2/H [-]	H3/H [-]
Tangki Diameter 60 cm	60	70	3,75	0,9	0.5	0.1



**Gambar III. 4** Geometri tangki, *impeller*, dan *probe* tampak atas

**Tabel III. 5** Dimensi tangki dengan *side-entering mixer* (SEM) tampak atas

	D [cm]	D' [cm]	d/D [-]	s/D [-]
Tangki Diameter 60 cm	60	70	0,1	0,1

### III.2 Prosedur Simulasi KDF

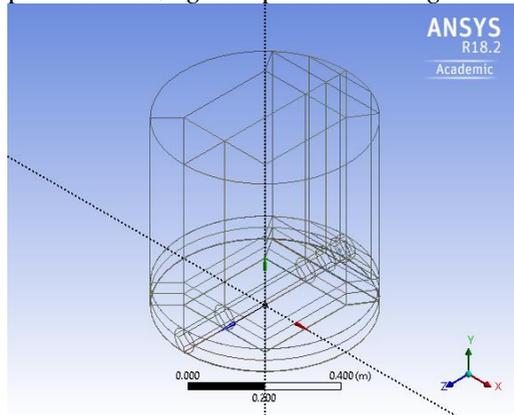
Simulasi yang dilakukan melalui beberapa tahapan proses yaitu *Pre-Processing*, *Solving* dan *Post-Processing*.

### III.2.1 Tahapan Pre-Processing

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

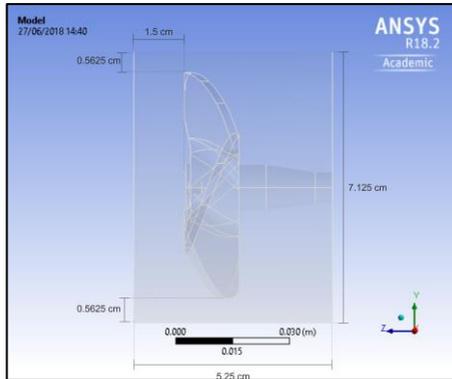
1. Membuat model geometri yang terdiri dari *stationary zone* dan *moving zone* pada *Geometry®*

Model geometri pada *stationary zone* dibuat menjadi beberapa bagian seperti pada **Gambar III.5** dengan titik pusat (0; 0; 0) yang terletak pada bagian tengah bawah. Hal ini bertujuan untuk mempermudah *sizing* saat proses *meshing* dilakukan.



**Gambar III. 5** Geometri *Stationary Zone* Tangki Diameter 60 cm

*Moving zone* dibuat dengan dimensi seperti pada **Gambar III.6** dimana ukurannya dibuat lebih besar dibandingkan dengan ukuran *propeller*. Pada tangki berdiameter 60 cm, posisi *moving zone* dibuat pada koordinat (0; 0.0375; -0.225) yang disesuaikan dengan letaknya pada *stationary zone*, kemudian *propeller* ditranlasi pada koordinat (0; 0.0375; -0.24).



**Gambar III. 6** Geometri *Moving Zone* Tangki Diameter 60 cm

2. Membuat grid menggunakan *Meshing*<sup>®</sup> dengan tipe *Grid* Tipe D, *Grid* Tipe E, dan *Grid* Tipe F pada berdiameter 60 cm.

Hasil *grid* dapat dilihat pada **Tabel III.6.** berikut. Pada masing-masing *grid* telah memenuhi syarat *grid* yang optimal sebelum dilakukan pengujian terhadap *meshing*.

**Tabel III. 6** Karakteristik *Grid* Jenis *Hexagonal Grid* Tipe D, *Grid* Tipe E, dan *Grid* Tipe F

Tipe <i>Grid</i>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b><i>Static</i></b>			
<i>Nodes</i>	1296653	1797621	2176344
<i>Element</i>	315003	437936	531195
<i>Skewness max</i>	0,95373	0,96083	0,96172
<i>Skewness average</i>	0,15049	0,1489	0,14803
<i>Ortogonal max</i>	1	1	1
<i>Ortogonal average</i>	0,91859	0,91914	0,92132
<b><i>Moving</i></b>			
<i>Nodes</i>	52314	73507	86364
<i>Element</i>	276925	392813	464755
<i>Skewness max</i>	0,9001	0,91599	0,93659

<i>Skewness average</i>	0,2312	0,23143	0,23128
<i>Orthogonal max</i>	0,9937	0,99458	0,99351
<i>Orthogonal average</i>	0,76728	0,76713	0,76731

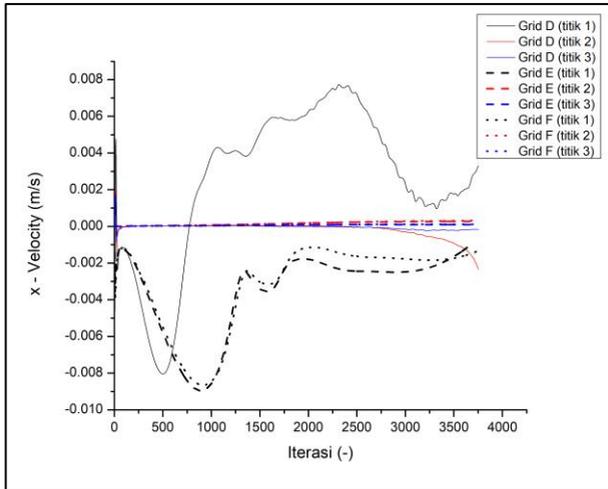
3. Melakukan *Grid Independent Test* dari ketiga tipe *grid* dan mendapatkan jenis *grid* yang sesuai.

*Grid independent* tercapai ketika penyelesaian solusi tidak berubah dengan memperbanyak jumlah *element* pada *grid*. *Grid independent test* dilakukan dengan cara membuat 3 tipe *grid*. Kemudian masing-masing *grid* akan diuji dengan kondisi yang serupa dan jumlah iterasi yang sama. Lalu kecepatan pada arah X dan Y diplot pada iterasi tertentu. Pengambilan data dilakukan di tiga titik pengamatan dengan koordinat pada **Tabel III.7**.

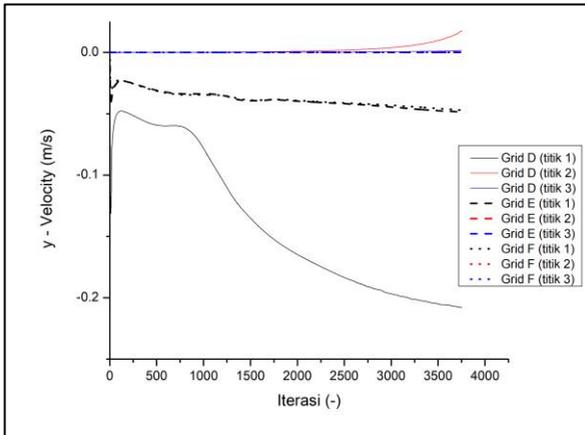
**Tabel III. 7** Koordinat Titik Pengamatan pada *Grid Independent Test*

Diameter Tangki	60 cm		
Titik ke-	1	2	3
X	0	0,06	-0,29
Y	0,005	0,3	0,29
Z	-0,005	0,54	0,29

Dengan data tersebut, dapat dibuat plot seperti **Gambar III.7** dan **Gambar III.8**



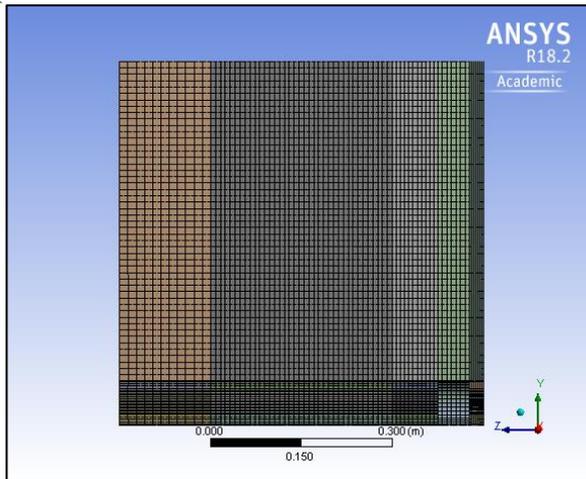
**Gambar III. 7** Grafik *x-velocity* pada Iterasi 0 Hingga 3000 pada *Grid Tipe D, Grid Tipe E, dan Grid Tipe F*



**Gambar III. 8** Grafik *y-velocity* pada Iterasi 0 Hingga 3000 pada *Grid Tipe D, Grid Tipe E, dan Grid Tipe F*

Berdasarkan **Gambar III.7** dan **Gambar III.8** dapat diketahui bahwa pola yang terjadi antara grafik dari *grid* tipe D berbeda jauh

daripada *grid* tipe E dan tipe F. Hal ini dikarenakan *grid* tipe D memiliki jumlah *element* paling sedikit sehingga paling tidak akurat dibandingkan *grid* tipe E dan F. Dalam tes ini, *grid* tipe E dan F memiliki pola yang sama, oleh karena itu *grid* yang akan digunakan dalam mencari waktu pencampuran adalah *grid* tipe D karena pada *grid* tipe D telah akurat dengan jumlah *element* lebih sedikit. Hasil *grid* baik *stationary zone* dan *moving zone* dapat dilihat pada **Gambar III.9** dan **Gambar III.10**.

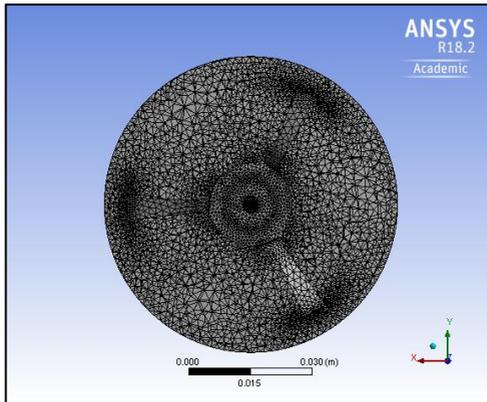


**Gambar III. 9** Meshing Stationary Zone Tangki Diameter 60 cm

Selain menggunakan *grid* jenis *hexagonal*, pada penelitian ini juga dilakukan pembuatan *grid* dengan jenis *tetrahedral* pada *meshing stationary zone*. Hal ini dilakukan untuk membandingkan pola alir dari kedua jenis *grid* tersebut. Hasil *grid* dengan jenis tetragonal dapat dilihat pada **Tabel III.8**. berikut. Pada masing-masing *grid* telah memenuhi kualitas *grid* yang baik yaitu *skewness max* dibawah 0,98 dan *skewness average* dibawah 0,25.

**Tabel III. 8** Karakteristik *Grid* Jenis Tetragonal pada *Stationary Zone*

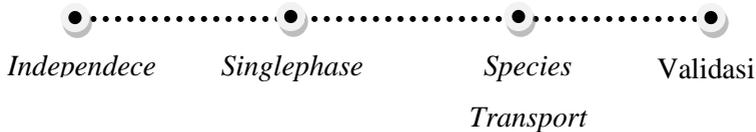
<i>Static</i>	
<i>Nodes</i>	971.752
<i>Element</i>	674.722
<i>Skewness max</i>	0,91921
<i>Skewness average</i>	0,23143



**Gambar III. 10** *Meshing Moving Zone* Tangki Diameter 60 cm

### III.2.2 Tahapan *Solving*

Sistem yang digunakan dibagi menjadi empat kondisi yang berurutan seperti skema pada **Gambar III.11** Masing-masing kondisi memiliki *set up* yang berbeda. *Set up* untuk kondisi *singlephase* dan *species-transport* tersebut ditunjukkan pada **Tabel III.9** dan **Tabel III.10**.



**Gambar III. 11** Skema yang digunakan pada *Solving*

**Tabel III. 9** *Set Up* yang Digunakan pada *Solving* pada Kondisi *Singlephase* dan *Species transport*

<b>SETUP</b>	<b>Singlephase</b>	<b>Species Transport</b>
<i>Diameter Tangki</i>	<i>60 cm</i>	<i>60 cm</i>
<b>1. General</b>		
<i>Solver</i>	<i>Pressure-based</i>	<i>Pressure-based</i>
<i>Time</i>	<i>Steady</i>	<i>Transient</i>
<i>Gravity (m/s<sup>2</sup>)</i>	<i>-9.8</i>	<i>-9.8</i>
<b>2. Models</b>		
<i>Species Transport</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>
<i>Viscous</i>	<i>k-e, RNG</i>	<i>k-e, RNG</i>
<b>3. Materials</b>		
<i>Water-liquid</i>	<i>V</i>	<i>v</i>
<i>HCL</i>	<i>-</i>	<i>v</i>
<b>4. Cell Zone Conditions</b>		
<b>Moving</b>	<i>Frame motion</i>	<i>Mesh motion</i>
<i>Material name</i>	<i>Water-liquid</i>	<i>Mixture</i>
<i>Rotation-axis origin</i>	<i>x = 0</i>	<i>x = 0</i>
	<i>y = 0.0375</i>	<i>y = 0.0375</i>
	<i>z = -0.25133</i>	<i>z = -0.25133</i>
<i>Rotation-axis direction</i>	<i>x = 0</i>	<i>x = 0</i>
	<i>y = 0</i>	<i>y = 0</i>
	<i>z = 1</i>	<i>z = 1</i>
<b>5. Boundary condition</b>		
<i>Permukaan</i>	<i>Symmetry</i>	<i>symmetry</i>
<i>back-mov</i>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>

<b><i>back-stat</i></b>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>
<b><i>front-mov</i></b>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>
<b><i>front-stat</i></b>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>
<b><i>side-mov</i></b>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>
<b><i>side-stat</i></b>	<i>Interface</i>	<i>interface</i>
<b><i>Shaft</i></b>	<i>Wall</i>	<i>Wall</i>
<i>wall motion</i>	<i>moving wall</i>	<i>moving wall</i>
<i>Motion</i>	<i>absolute – rotational</i>	<i>absolute - rotational</i>
<i>Rotation-axis origin</i>	$x = 0$	$x = 0$
	$y = 0.0375$	$y = 0.0375$
	$z = -0.28874$	$z = -0.28874$
<i>Rotation-axis direction</i>	$x = 0$	$x = 0$
	$y = 0$	$y = 0$
	$z = 1$	$z = 1$
<i>Shear condition</i>	<i>no slip</i>	<i>no slip</i>
<b><i>prop-mov (wall)</i></b>		
<i>wall motion</i>	<i>moving wall</i>	<i>moving wall</i>
<i>Motion</i>	<i>relative – rotational</i>	<i>relative - rotational</i>
<i>Rotation-axis origin</i>	$x = 0$	$x = 0$
	$y = 0,025$	$y = 0,025$
	$z = -0,16492$	$z = -0,16492$
<i>Rotation-axis direction</i>	$x = 0$	$x = 0$
	$y = 0$	$y = 0$
	$z = 1$	$z = 1$
<i>Shear condition</i>	<i>no slip</i>	<i>no slip</i>

<b>6. Mesh Interface (propeller)</b>		
<i>Interface zones side 1</i>	<i>back-stat</i>	<i>back-stat</i>
	<i>front-stat</i>	<i>front-stat</i>
	<i>side-stat</i>	<i>side-stat</i>
<i>Interface zones side 2</i>	<i>back-mov</i>	<i>back-mov</i>
	<i>front-mov</i>	<i>front-mov</i>
	<i>side-mov</i>	<i>side-mov</i>

**Tabel III. 10** *Solution yang Digunakan pada Solving pada Kondisi Singlephase, Singlephase-transient dan Multiphase-transient*

<b>SOLUTION</b>	<b>Singlephase</b>	<b>Species transport</b>
<i>Diameter Tangki</i>	<i>60 cm</i>	<i>60 cm</i>
<b>1. Solution Methods</b>		
<i>Scheme</i>	<i>SIMPLE</i>	<i>SIMPLE</i>
<i>Gradient</i>	<i>Least squares cell based</i>	<i>Least squares cell based</i>
<i>Pressure</i>	<i>Second order</i>	<i>Second order</i>
<i>Momentum</i>	<i>Second order upwind</i>	<i>Second order upwind</i>
<i>Volume fraction</i>	-	-
<i>Turbulent kinetic energy</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>
<i>Turbulent dissipation rate</i>	<i>First order upwind</i>	<i>First order upwind</i>
<b>2. Soluton Controls</b>		
<i>Pressure</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>
<i>Density</i>	<i>0.6</i>	<i>0.6</i>
<i>Body forces</i>	<i>0.6</i>	<i>0.6</i>

<i>Momentum</i>	0.5	0.5
<i>Turbulent kinetic energy</i>	0.6	0.6
<i>Turbulent dissipation rate</i>	0.6	0.6
<i>Turbulent viscosity</i>	0.6	0.6
<b>3. Initialization</b>		
<b>Patch</b>		
<i>Option</i>	-	<i>Inside</i>
<i>Shape</i>	-	<i>Sphere</i>
<i>Center coordinates</i>	-	$x = 0$ $x = 0$
	-	$y = 0,5799524307$
	-	$z = -0,25133$
	-	$r = 0,02004756926$

Pada sistem ini, fluida yang digunakan adalah fluida *compressible* dengan kecepatan yang rendah. Oleh karena itu solver yang digunakan adalah *Pressure-Based Solver*. Fluida pada sistem ini memiliki nilai turbulensi yang tinggi sehingga *viscous model* yang digunakan adalah K-e RNG untuk meningkatkan akurasi. Pada permukaan liquid di bagian atas tidak memiliki nilai *shear effect* sehingga *boundary condition* pada permukaan liquid digunakan *symmetri*. Pada liquid yang ada di dekat dinding tangki dan shaft memiliki kecepatan sama dengan 0, sehingga digunakan *no slip condition*. Pada sistem ini, bagian yang berputar adalah *shaft* dengan bagian *propeller* yang berada pada *moving zone* berputar mengikuti kecepatan *shaft*. Sehingga *motion* pada *shaft* adalah *absolute* dengan kecepatan sesuai variabel dan *propeller* pada *moving zone* adalah *relative* terhadap *shaft*.

Pada sistem ini menggunakan kondisi *steady* maupun *unsteady (transient)*. Saat kondisi *steady* dan *unsteady*

menggunakan *Pressure Velocity Coupling* yaitu SIMPLE karena memiliki kecepatan yang tinggi untuk mencapai konvergensi. *Grid* yang digunakan adalah *polyhedral (hexagonal) mesh* sehingga digunakan pengaturan *gradient* adalah *Least Squares Cell Based* karena lebih akurat. Di sistem ini juga menggunakan kondisi *singlephase* dan *species transport*. Pada saat kondisi *steady* dan *transient*, aliran sistem merupakan aliran kompresibel dan bukan media berpori maupun bukan multifase sehingga digunakan *second order* pada *solution pressure*.

Untuk persamaan momentum, diinginkan keakuratan yang tinggi sehingga menggunakan pengaturan *second order upwind* karena dalam melakukan iterasi mempertimbangkan 3 titik data perhitungan sebelumnya. Untuk persamaan *Volume fraction*, *Turbulent kinetic energy*, dan *Turbulent dissipation rate* diinginkan untuk mencapai konvergensi dalam waktu yang singkat sehingga digunakan *first order upwind*. Pada penentuan *under relaxation number*, digunakan referensi dari penelitian sebelumnya. Dari peralihan kondisi *singlephase* menjadi *species transport (transient)*, dilakukan *patch* terhadap HCl dengan spesifikasi sesuai eksperimen

### III.2.3. Tahapan *Post Processing*

1. Membuat beberapa titik dan bidang yang telah diatur pada **Tabel III.11**

**Tabel III. 11** Koordinat dan Titik Pengamatan

Diameter Tangki	60 cm		
Koordinat	X	Y	Z
Titik Pengamatan 1	0	0,06	-0,29
Titik Pengamatan 2	0,005	0,3	0,29
Titik Pengamatan 3	-0,005	0,54	0,29

2. Memperoleh pola alir dan kecepatan ujung *propeller* pada masing-masing variabel.
3. Memperoleh nilai fraksi massa pada masing-masing titik pengamatan dan variabel untuk setiap satuan waktu.

### III.3 Variabel Percobaan

Variabel yang digunakan dalam sistem yang dipelajari adalah variabel kecepatan serta diameter *propeller* dan ukuran tangki:

1. Variabel kecepatan putar:
  - a. 100 rpm
  - b. 200 rpm
  - c. 300 rpm
  - d. 400 rpm
2. Variabel diameter *propeller* dan Ukuran tangka adalah *Propeller* 6 cm dengan tangki diameter 60 cm dan ketinggian 60 cm

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan dari penelitian ini diperoleh melalui simulasi *Komputasi dinamika fluida* (KDF) dengan menggunakan software FLUENT 17.1. Simulasi dilakukan dengan metodologi yang telah dijelaskan sebelumnya. Analisa dan pembahasan pada bab ini meliputi waktu pencampuran berdasarkan kecepatan serta validasi hasil simulasi dengan hasil eksperimen.

### IV.1 Waktu Pencampuran

Waktu pencampuran merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai homogenitas. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan waktu pencampuran dengan metode KDF. Simulasi ini dilakukan dengan 2 tahap yaitu tahap *singlephase* dan *species transport*. Tahap *singlephase* dilakukan untuk mendapatkan pola alir yang *steady*. Hal ini juga dilakukan pada eksperimen. Sedangkan tahap *species transport* mulai ditambahkan *tracer* berupa HCl dengan jumlah yang sama dengan eksperimen. Pada tahap ini hanya memperhitungkan persebaran HCl sebagai *tracer* karena perhitungan persamaan pola alir menggunakan perhitungan pada tahap *singlephase*, sehingga pada tahap kedua ini menggunakan *species transport*.

#### IV.1.1 *Singlephase*

Pada kondisi *steady* bertujuan agar mempercepat konvergensi pada saat kondisi transient. Konvergensi didapatkan berdasarkan ciri-ciri berikut:

1. Memiliki nilai *residual*  $10^{-3}$  untuk nilai *kontinuitas* (Kerdouss, 2008).

Jumlah iterasi yang dibutuhkan oleh masing-masing variabel untuk mencapai kondisi *residual* kurang dari  $10^{-3}$  dapat dilihat pada **Tabel IV.1**.

**Tabel IV. 1** Jumlah Iterasi pada Kondisi *Steady*

Kecepatan Putar	D = 60 cm
-----------------	-----------

100 rpm	6936
200 rpm	7000
300 rpm	5420
400 rpm	5501

2. Nilai *power consumption* adalah konstan (Gaubert, 2006).

Nilai *power consumption* pada kondisi *steady* haruslah konstan. Perhitungan *power consumption* dapat dilihat dari nilai torsi pada *propeller*. Hal ini dikarenakan *power consumption* berbanding lurus dengan nilai torsi seperti pada persamaan berikut.

$$P = 2\pi NMz \quad (4.1)$$

Dimana P adalah *power consumption*, N adalah kecepatan putar *propeller*, dan Mz adalah torsi pada arah z.

3. Kecepatan ujung *propeller* sesuai dengan kecepatan putar linear *propeller*.

Simulasi yang *valid* adalah simulasi yang mendekati kondisi nyata atau eksperimen. Oleh karena itu perlu membandingkannya dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = \omega \times R \quad (4.2)$$

Dimana V adalah *linear velocity*,  $\omega$  adalah *angular velocity*, dan R adalah jari-jari *propeller*. Perbandingan kecepatan ujung *propeller* dari simulasi dan eksperimen dapat dilihat pada **Tabel IV.2**.

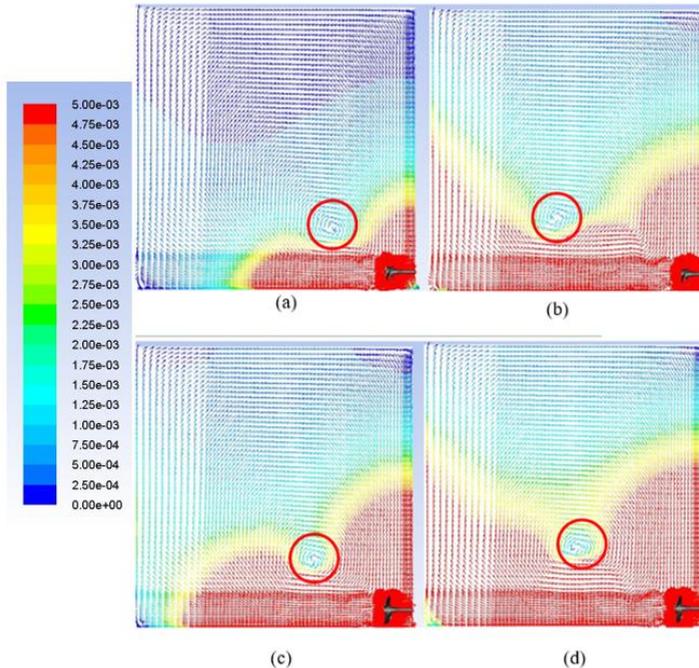
**Tabel IV. 2** Kecepatan Ujung *Propeller* pada Kondisi *Steady*

Kecepatan Putar	D = 60 cm	
	<i>Hex Dominant</i>	
	Eksperimen	KDF
100 rpm	0,31416 m/s	0,3151258 m/s
200 rpm	0,62832 m/s	0,6302515 m/s
300 rpm	0,94248 m/s	0,9453772 m/s
400 rpm	1,25664 m/s	1,260503 m/s
	<i>Tetragonal Dominant</i>	

	Eksperimen	KDF
100 rpm	0,31416 m/s	0,3151453 m/s
200 rpm	0,62832 m/s	0,6302906 m/s
300 rpm	0,94248 m/s	0,945436 m/s
400 rpm	1,25664 m/s	1,260581 m/s

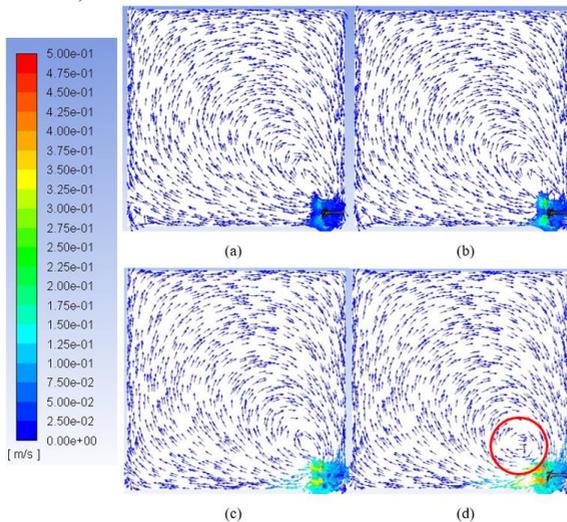
4. Pola alir pada saat kondisi *steady* telah sesuai (Cortada, 2017)

*Propeller* merupakan jenis *impeller* yang menggerakkan fluida ke arah aksial. Sehingga arah air akan bergerak ke arah depan *propeller*. Pada **Gambar IV.1** hingga **Gambar IV.2** menunjukkan pola alir fluida dari *propeller* 6 cm.



**Gambar IV. 1** Pola Alir pada Simulasi *Propeller* 6 cm dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm; (c) 300 rpm; dan (d) 400 rpm Jenis *Grid Hexagonal*

Pada **Gambar IV.13** dapat dilihat mengenai vektor kecepatan fluida yang menunjukkan pola alir aksial. Hal ini sesuai bahwa *propeller* merupakan jenis pengaduk yang digunakan untuk pengadukan dengan arah aksial. Arus aliran meninggalkan *propeller* secara kontinyu melewati fluida ke satu arah tertentu sampai dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki. Selain itu pola aliran yang terjadi adalah *one loop circulation*. Setelah *discharge stream* bergerak lurus dari *propeller* melalui dasar tangki kemudian menyebar dan naik menuju permukaan *liquid* setelah menabrak dinding tangki, aliran yang naik ke permukaan *liquid* kembali menuju *propeller*. Sedangkan pada peningkatan kecepatan putar *propeller*, dapat diperlihatkan bahwa letak *circulation flow* cenderung bergeser ke atas menuju tengah tangki (Murtadho, 2017).

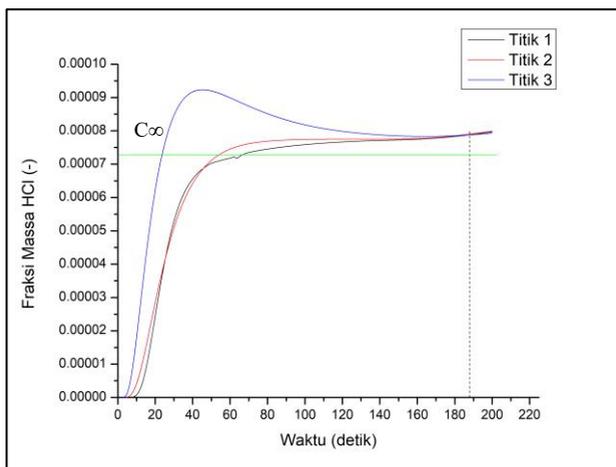


**Gambar IV. 2** Pola Alir pada Simulasi *Propeller* 6 cm dengan (a) 100 rpm; (b) 200 rpm; (c) 300 rpm; dan (d) 400 rpm Jenis *Grid Tetrahedral*

Pada **Gambar IV.2** dapat dilihat mengenai vektor kecepatan fluida yang menunjukkan pola alir aksial. Hal ini sesuai bahwa *propeller* merupakan jenis pengaduk yang digunakan untuk pengadukan dengan arah aksial. Pola alir yang terjadi adalah *quick return flow* pada kecepatan putar 100, 200 dan 300 rpm. Sedangkan pusaran terbentuk pada kecepatan putar 400 rpm.

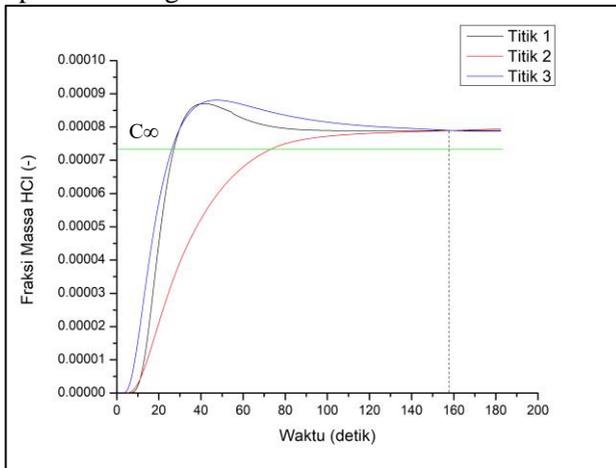
#### IV.1.2 Species Transport

*Species transport* merupakan tahap setelah pemberian *tracer* pada permukaan air. *Tracer* yang digunakan adalah HCl 37% pada tangki berdiameter 60 cm adalah sebanyak 33.75 ml. Setelah melakukan simulasi model *species transport*, waktu pencampuran dan campuran yang homogen didapatkan ketika semua titik pengamatan atau *probe* sesuai **Tabel III.11** memiliki fraksi massa yang konstan (Al-Qaessi, 2009). Fraksi massa dari masing-masing titik pengamatan atau *probe* pada setiap variabel kecepatan *propeller* waktu dalam tangki berdiameter 60 cm terhadap dapat ditunjukkan pada **Gambar IV.3** hingga **Gambar IV.9**.

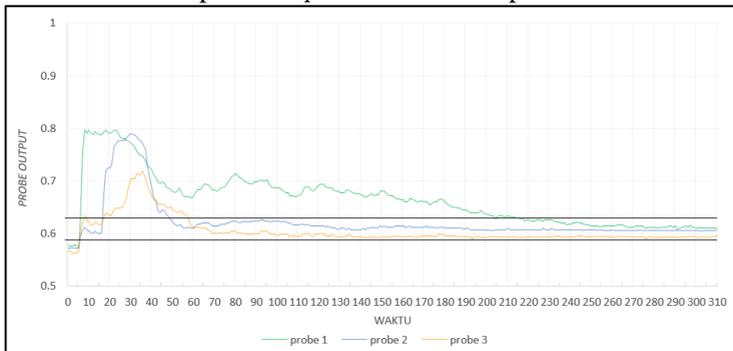


**Gambar IV. 3** Fraksi Massa pada *Titik pengamatan 1, 2, dan 3* pada *Propeller 6 cm 100 rpm*

Pada hasil simulasi didapatkan waktu pencampuran adalah 189,42 detik, namun tidak dilakukan eksperimen sehingga hasilnya tidak dapat dibandingkan.

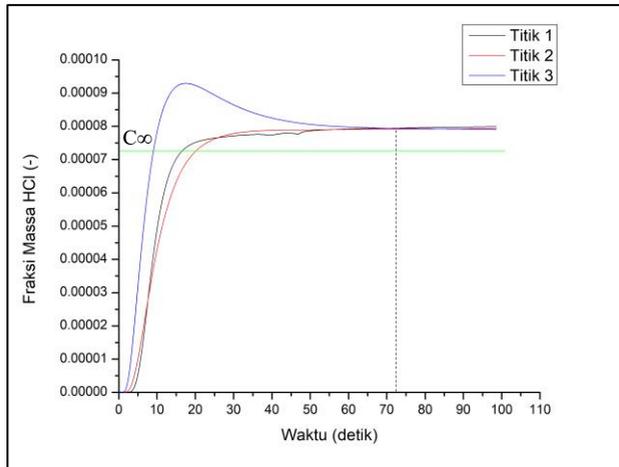


**Gambar IV. 4** Fraksi Massa pada *Titik pengamatan 1, 2, dan 3* pada *Propeller 6 cm 200 rpm*

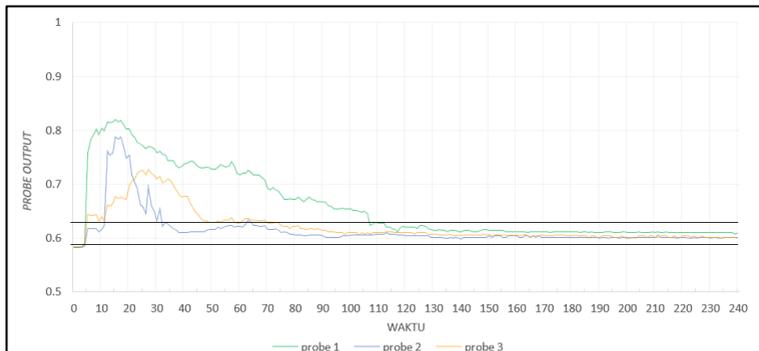


**Gambar IV. 5** Hasil Pembacaan *Probe* pada *Propeller 6 cm 200 rpm*

Pada hasil simulasi didapatkan waktu pencampuran adalah 159,64 detik, sedangkan pada hasil eksperimen adalah 267 detik.

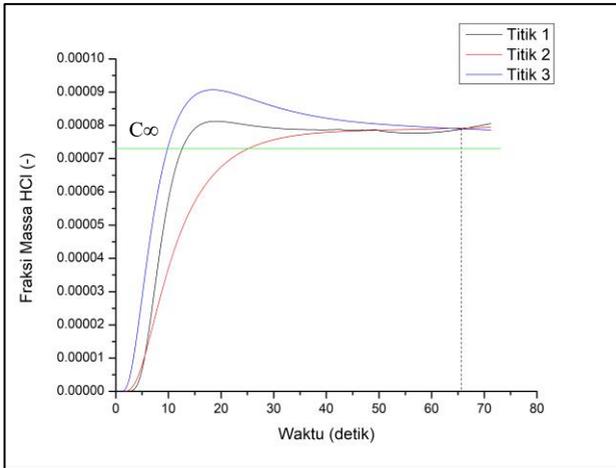


**Gambar IV. 6** Fraksi Massa pada *Titik pengamatan 1, 2, dan 3* pada *Propeller 6 cm 300 rpm*

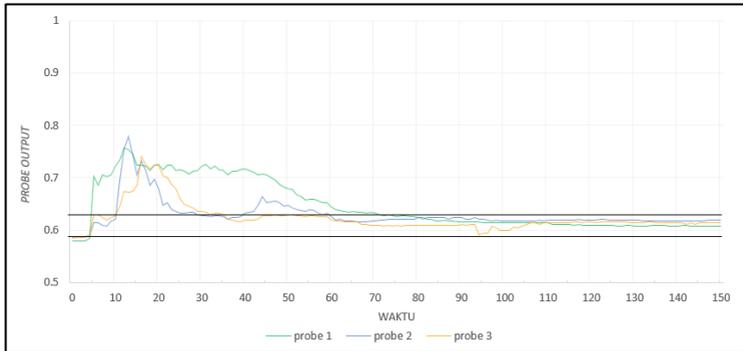


**Gambar IV. 7** Hasil Pembacaan *Probe* pada *Propeller 6 cm 300 rpm*

Pada hasil simulasi didapatkan waktu pencampuran adalah 82,60 detik, sedangkan pada hasil eksperimen adalah 161 detik.

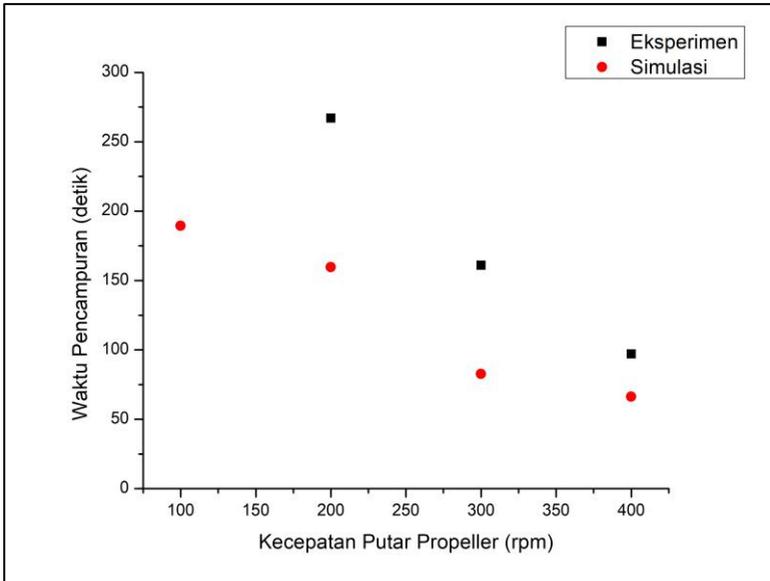


**Gambar IV. 8** Fraksi Massa pada *Titik* pengamatan 1, 2, dan 3 pada *Propeller* 6 cm 400 rpm



**Gambar IV. 9** Hasil Pembacaan *Probe* pada *Propeller* 6 cm 400 rpm

Pada hasil simulasi didapatkan waktu pencampuran adalah 66,33 detik, sedangkan pada hasil eksperimen adalah 97 detik



**Gambar IV. 10** Waktu Pencampuran *Propeller* 6 cm pada 100, 200, 300, dan 400 rpm

Semakin tinggi kecepatan putar *propeller* maka semakin cepat waktu pencampuran tercapai seperti pada **Gambar IV.10**. Hal ini disebabkan pada kecepatan rendah fluida cenderung untuk mengalir tanpa adanya gerakan bercabang dan *layer* fluida yang berdekatan akan cenderung bergeser dengan yang lainnya. Sedangkan pada kecepatan lebih tinggi, arah aliran yang bercabang akan lebih banyak yang terbentuk. Hal ini juga diikuti oleh terbentuknya pusaran fluida yang menyebabkan kontak antar molekul lebih sering terjadi. Inilah yang menyebabkan waktu pencampuran pada kecepatan lebih tinggi akan lebih cepat tercapai (Dimas, 2017).

**Tabel IV. 3** Fraksi Massa HCl saat Waktu Pencampuran Tercapai

Variabel	<i>Titik pengamatan 1</i>	<i>Titik pengamatan 2</i>	<i>Titik pengamatan 3</i>

	Fraksi Massa HCl	error	Fraksi Massa HCl	error	Fraksi Massa HCl	error
100 rpm	$7,89 \times 10^{-5}$	7,26%	$7,91 \times 10^{-5}$	7,59%	$7,88 \times 10^{-5}$	7,16%
200 rpm	$7,89 \times 10^{-5}$	7,32%	$7,88 \times 10^{-5}$	7,34%	$7,90 \times 10^{-5}$	7,32%
300 rpm	$7,96 \times 10^{-5}$	8,27%	$7,92 \times 10^{-5}$	7,70%	$7,93 \times 10^{-5}$	7,76%
400 rpm	$7,91 \times 10^{-5}$	7,46%	$7,92 \times 10^{-5}$	7,63%	$7,89 \times 10^{-5}$	7,23%

Fraksi massa HCl menurut perhitungan adalah  $0,000073565$  atau  $7,4 \times 10^{-5}$ , Perbedaan fraksi massa akhir antara simulasi dan perhitungan disebabkan masih adanya bagian yang tidak tercampur (*dead zone*) dari tangki. Namun *dead zone* tersebut dapat diabaikan karena sangat kecil jika dibandingkan dengan keseluruhan total tangki. Perbedaan ini juga dapat ditoleransi karena memiliki nilai *error* yang kurang dari 10% (Chomcharn, 2009).

#### IV.2 Validasi Data

Perbandingan waktu pencampuran berdasarkan metode KDF dan eksperimen dapat dilihat pada **Tabel IV.4**.

**Tabel IV. 4** Waktu Pencampuran Metode KDF dan Eksperimen

Diameter Propeller	Kecepatan Putar Propeller	Waktu Pencampuran (detik)		Error
		Metode KDF	Eksperimen	
6 cm	200 rpm	159,64	267	40,21%
	300 rpm	82,6	161	48,70%
	400 rpm	66,33	97	31,62%

Pada beberapa penelitian, validasi antara hasil simulasi dan eksperimen menggunakan nilai toleransi yang bermacam-

macam. Pada penelitian sebelumnya, perbandingan waktu percampuran antara hasil simulasi dan eksperimen berkisar antara 200-300% (Zhou, 2013), 42% (Ochieng, 2007), atau 37,8-96,7 % (Nikolić, 2016). Oleh karena itu maka dikatakan bahwa hasil simulasi pada penelitian ini realistis dan merupakan representative dari eksperimen. Error yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

1. Jumlah elemen *mesh* yang dibuat memiliki jumlah yang kurang banyak. Hal ini menyebabkan permodelan kurang sesuai untuk mewakili kondisi nyata eksperimen. Meskipun *Grid independent test* telah dilakukan, namun *Grid independent test* yang dilakukan hanya pada iterasi awal. Untuk mendapatkan hasil *Grid* yang baik, maka perlu dilakukan *Grid Independent test* pada masing-masing variabel hingga pada tahap *species transport*.
2. *Time step* tidak sesuai dengan perhitungan. Pada penelitian ini digunakan *time step* sebesar 0,01 detik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *time step* yang seharusnya digunakan adalah sebagai berikut

$$\Delta t = \frac{\text{minimal edge length}}{\text{velocity}}$$

Berdasarkan persamaan di atas maka didapatkan *time step* yang seharusnya untuk masing-masing variabel dapat dilihat pada **Tabel IV.5**. Nilai *time step* yang baik adalah kurang dari hasil perhitungan.

**Tabel IV. 5** Hasil Perhitungan *Time Step*

Variabel	<i>Minimal Edge Length</i> (m)	Kecepatan (m/s)	<i>time step</i> (s)
100 rpm	0.00064288	0.31416	0.002046
200 rpm	0.00064288	0.62832	0.001023
300 rpm	0.00064288	0.94248	0.000682
400 rpm	0.00064288	1.25664	0.000512

3. Penambahan HCl 37% pada eksperimen yang ditambahkan dengan cara dituang diasumsikan dengan cara melakukan *patch* pada *injection point*.
4. Pengaruh *probe* pada eksperimen tidak diperhitungkan.
5. Dinding tangki diasumsikan berbentuk silinder sempurna.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dengan metode KDF, didapatkan waktu pencampuran pada tangki berpengaduk samping dengan untuk diameter *propeller* 6 cm pada kecepatan 100, 200, 300, dan 400 rpm berturut-turut adalah 189,42; 159,64; 82,60; dan 66,33 detik.
2. Semakin tinggi kecepatan putar *propeller* pada suatu tangki akan menyebabkan waktu pencampuran lebih kecil dengan metode KDF.
3. Model simulasi yang telah dilakukan terhadap hasil penelitian sebelumnya dinyatakan realistis dengan *error* yang dapat ditoleransi yaitu pada tangki berpengaduk samping dengan diameter *propeller* 6 cm pada kecepatan 200, 300, dan 400 rpm berturut-turut adalah 40,21; 48,70; dan 31,62 persen.

#### **V.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan yaitu:

1. Melakukan *grid independent test* pada setiap perubahan variabel geometri dan kecepatan putar *propeller* hingga waktu pencampuran tercapai untuk memperoleh grid yang representatif.
2. Menggunakan *time step* sesuai perhitungan untuk hasil yang lebih akurat, namun membutuhkan waktu yang lebih lama.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alliet-Gaubert, Marion. 2006. *CFD Analysis of Industrial Multi- Staged Stirred Vessels*. Australia: University of Sydney, and Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Bakker A. 2006. *The Future of CFD in Engineering Design*. Presented at the Design Engineering Conference. USA: The 16th National Manufacturing Week.
- Barnett, Taylor C. 2014. *Laminar and turbulent regime changes in drinking water contact tanks*. USA: American Water Works Association.
- Chomcharn, Nonjaros. 2009. *Experimental Investigation of Mixing Time in A Stirred, Torispherical-Bottomed Tank Equipped with A Retreat-Blade Impeller*. USA: Otto H. York Department of Chemical, Biological and Pharmaceutical Engineering.
- Cortada-Garcia, Marti. 2017. *Experimental and CFD studies of power consumption in the agitation of highly viscous shear thinning fluids*. United Kingdom: Accepted Manuscript
- F. Al-Qaessi & L. Abu-Farah. 2009. *Prediction of Mixing Time for Miscible Liquids by CFD Simulation in Semi-Batch and Batch Reactors*. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Volume 3, 2009 - Issue 1, Pages 135-146. <https://doi.org/10.1080/19942060.2009.11015260>
- Feder, dan Agung. 2017. *Simulasi CFD Karakteristik Hidrodinamika Fermentor Bioetanol*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Geankoplis C. J. 2003. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. Prentice-Hall International, Inc.
- Kerdouss, F, dkk. 2007. *Two-phase mass transfer coefficient prediction in stirred vessel with a CFD model*. Elsevier. Computers and Chemical Engineering Vol. 32 Issues 8 Pages 1943–1955.

- Madhania, dkk. 2017. *Mixing Behaviour of Miscible Liquid-Liquid Multiphase Flow in Stirred Tank with Different Marine Propeller Installment by Computational Fluid Dynamics Method*. Italia: AIDIC Vol. 56. Pages 1057-1062, DOI: 10.3303/CET1756177
- Marshall, Elizabeth M. 2001. *Computational Fluid Mixing*. USA: North American Mixing Forum (NAMF) Handbook on Mixing.
- Murtadho, Mochammad. 2017. *Pengaruh Side Entry Angle terhadap Pola Alir dalam Tangki Berpengaduk dengan Side-Entering Mixer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nikolić, Dragan D. 2017. *Mixing Time—Experimental Determination and Applications to the Modelling of Crystallisation Phenomena*. Switzerland: Preprints, Basel.
- Nishikata, E. 1981. *Viscosities of Aqueous Hydrochloric Acid Solutions, and Densities and Viscosities of Aqueous Hydroiodic Acid Solutions*. Yokohama: Departments of Chemical and Electrical Engineering, Yokohama National University.
- Ochieng, Aoyi. 2008. *Mixing in A Stirred Tank by A Rushton Turbine at A Low Clearance*. Elsevier, Chemical Engineering and Processing Volume 47, Issue 5, May 2008, Pages 842-851
- Othman, N. 2014. *Optimization of a Continuous Hybrid Impeller Mixer via Computational Fluid Dynamics*. Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 619474, 6 pages
- Paul, Edward L., dan Arthur William E. 2004. *Advances in Industrial Mixing*: USA: A Companion to The Handbook of Industrial Mixing. John Wiley and Sons Ltd.
- Ristiansyah, Naufal Nurrachmadi, dan Dimas Agung Laksono. *Eksperimen Scale-Up Tangki Berpengaduk Samping dengan Propeller*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Rushton, J. H and Oldshue, J. Y. 1954. *Mixing-Prsent Theory and Practice*. New York: McGraw-Hill, in.
- Sinnot. R. K. 1999. *Chemical Engineering Design*. United Kingdom: Oxford University, Linacre House.
- Susanti, Ari. 2016. *Studi Hidrodinamika dan Parameter Mixing Time pada Reakto Biogas dengan Side-Entering Mixer Berbasis CFD*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Walas, Stanley M, dkk. 1988. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. USA: Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- Yoon, H. S. 2005. *Reynolds Number Scaling of flow in A Rushton Turbine Stirred Tank Part I—Meanflow, Circular Jet and Tip Vortex Scaling*. Elsevier Chemical Engineering Science 60 Volume 60, Issue 12, June 2005, Pages 3169-3183
- Zhou, Guozhong. 2003. *CFD Study of Mixing Process in Rushton Turbine Stirred Tanks*. Australia: CSIRO

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR NOTASI

D	Diameter Tangki Silinder	[m]
d	Diameter <i>Impeller</i>	[m]
s	Jarak <i>Impeller</i> ke Dinding Tangki Silinder	[m]
H	Tinggi Fluida dalam Tangki	[m]
N	Kecepatan putar <i>impeller</i>	[rpm]
$\mu$	Viskositas Fluid	[kg/m.s]
$\rho$	Densitas Fluid	[kg/m <sup>3</sup> ]
<i>Nre</i>	<i>Reynold Number</i>	[-]

*Halaman ini sengaja dikosongkan*