



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBULENSI DALAM SIKLON *BURNER* DENGAN  
METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**SKRIPSI**

**MOHAMMAD RIDHO**

**1106070584**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBULENSI DALAM SIKLON *BURNER* DENGAN  
METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MOHAMMAD RIDHO**

**1106070584**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

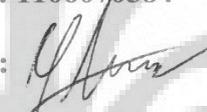
**JULI 2015**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya penulis sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah penulis nyatakan dengan benar.**

**Nama : Mohammad Ridho**

**NPM : 1106070584**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 1 Juli 2015**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Mohammad Ridho

NPM : 1106070584

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Karakteristik Turbulensi dalam Siklon *Burner*  
dengan Metode *Computational Fluid Dynamics*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng.



Penguji 1 : Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, M.Sc., Ph.D. ( )



Penguji 2 : Prof. Dr. I Made Kartika Dhiputra, Dipl. -Ing. ( )



Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng.



Ditetapkan : Depok

Tanggal : 22 Juni 2015

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis panjatkan puji syukur kepada hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tulisan skripsi ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk dapat lulus Mata Kuliah Skripsi yang diperlukan agar dapat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Tulisan Skripsi yang berjudul *Analisis Karakteristik Turbulensi dalam Siklon Burner dengan Metode Computational Fluid Dynamics* ini dibuat dengan menyesuaikan masalah yang terjadi di lapangan pada saat penelitian Tugas Akhir.

Ucapan terima kasih juga penulis berikan kepada:

1. Hj. Suzannawati, ibu kandung penulis, Salman Muttaqien, Apt. dan Ali Mukhsinin, S.T., kedua kakak kandung, serta kakak ipar penulis, Kamelia Srimaryanti, .Apt, yang telah memberikan dukungan penuh secara moril dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah menyumbangkan waktu luang, tenaga, dan pikiran, serta arahan dan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Prof. Dr. I Made Kartika D, Dipl. -Ing., Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng, dan Prof. Ir. Yulianto S Nugroho, M.Eng, Ph.D. selaku dewan penguji yang telah memberikan masukan-masukan berguna dalam penyusunan skripsi ini.
4. Yohanes Gunawan, S.T., selaku mentor dan pembimbing penulis di lapangan yang telah berbagi ilmu dan menyumbangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta selalu memberikan motivasi dan inspirasi kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Prof. Dr. Ir. Nasruddin, Dipl -Ing., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

6. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, M.Eng yang telah memberikan pemahaman mengenai teknik komputasi dalam ilmu keteknikan kepada penulis.
7. Seluruh jajaran dosen, staf, dan karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah mengajari banyak ilmu dan wawasan bermanfaat serta mengurus hal-hal yang berkaitan dengan akademik selama ini.
8. Danian Primasatrya dan Rizki Hashi Wiyantirta sebagai rekan satu tema Tugas Akhir yang telah bersusah-payah dan bertukar ilmu dalam penyelesaian Tugas Akhir bersama-sama dalam suka duka dan senang sedih.
9. Teman-teman Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia 2011 yang telah menemani penulis dan sama-sama berjuang selama empat tahun sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah ini dengan baik.
10. Seluruh pihak lainnya yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Tulisan skripsi ini juga saya dedikasikan kepada bapak kandung saya, yaitu (Alm.) Ir. H. Abdul Hakim bin Hanafiah yang telah mendidik serta mengenalkan penulis terhadap dunia keteknikan. Akhir kata, semoga kebaikan yang telah mereka berikan akan dibalas oleh Allah SWT, dan semoga tulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan ke depannya.

Depok, Juli 2015

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Ridho  
NPM : 1106070584  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah penulis yang berjudul:

**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBULENSI DALAM SIKLON *BURNER*  
DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 1 Juli 2015

Yang menyatakan



(Mohammad Ridho)

## ABSTRAK

Nama : Mohammad Ridho  
NPM : 1106070584  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Analisis Karakteristik Turbulensi dalam Siklon *Burner* dengan Metode *Computational Fluid Dynamics*

Siklon *burner* merupakan alat yang digunakan untuk mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang kemudian energinya dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, seperti pembangkitan listrik, boiler, dan sebagainya. Sehubungan semua katup siklon *burner* harus selalu tertutup selama pengujian untuk menjamin kinerja *burner* yang maksimal, pengamatan fenomena turbulensi dalam ruang bakar tidak dimungkinkan. Oleh karena itu, *Computational Fluid Dynamics* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai Energi Kinetik Turbulensi dan Kecepatan secara keseluruhan cenderung mengalami penurunan seiring dengan jarak yang ditempuh setelah memasuki ruang bakar. Hasil Validasi kecepatan pada bagian *outlet* menunjukkan bahwa kecepatan hasil simulasi dan pengukuran tidak jauh berbeda dan saling berdekatan.

Kata kunci: CFD, aliran, kecepatan, turbulensi

## ABSTRACT

Nama : Mohammad Ridho  
Number : 1106070584  
Major : Teknik Mesin  
Title : Analysis of Turbulence Characteristics in Cyclone Burner by Computational Fluid Dynamics Method

Cyclone Burner is a burner used in the purpose of converting solid fuel into gas whose energy is used for various applications such as power generation, boiler, et cetera. Direct observation of turbulence phenomenon is not possible since the combustion chamber must always be closed to ensure possible maximum performance achieved by the burner. Therefore, Computational Fluid Dynamics is used to solve those problems. The simulation results show that both Turbulent Kinetic Energy and Velocity tend to decrease in value by distance travelled by the flow upon entering the combustion chamber. Velocity Validation results show that both velocity curve and velocity point measured during experiment are in good agreement that their marginal results are not greatly different.

Keywords: CFD, flow, velocity, turbulence

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Judul Penelitian .....	1
1.2. Latar Belakang .....	1
1.3. Perumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Batasan Masalah .....	4
1.6. Metodologi Penelitian .....	4
1.7. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II. DASAR TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1. Gambaran Mengenai Siklon <i>Burner</i> .....	7
2.1.1. Siklon <i>Burner</i> di P3TKEBTKE .....	7
2.1.2. Spesifikasi dan Karakteristik pada Sistem Siklon <i>Burner</i> .....	8
2.1.3. Karakteristik Siklon <i>Burner</i> .....	8
2.1.4. Proses Pembakaran dalam Siklon <i>Burner</i> .....	9
2.1.5. Keunggulan dan Perbedaan Siklon <i>Burner</i> .....	11
2.2. Jenis Aliran .....	12
2.2.1. Aliran Laminar .....	12
2.2.2. Aliran Turbulen .....	12
2.2.3. Aliran Transisi.....	13
2.3. Parameter Kondisi Awal .....	13
2.3.1. Bilangan Reynolds .....	13
2.3.2. Diameter Hidrolik .....	13
2.3.3. Intensitas Turbulensi .....	14
2.3.4. Energi Kinetik Turbulen .....	15
2.3.5. Laju Disipasi Turbulen.....	15

2.4. Persamaan Navier-Stokes .....	16
2.5. Persamaan K-Epsilon.....	18
2.6. Teknik Komputasi .....	19
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1. Metodologi Penelitian.....	22
3.1.1. Persiapan Alat .....	22
3.1.1.1. Identifikasi Masalah yang Akan Dibahas .....	22
3.1.1.2. Penelusuran Literatur yang Mendukung.....	22
3.1.1.3. Pengukuran Dimensi Siklon <i>Burner</i> .....	23
3.1.1.4. Fabrikasi.....	23
3.1.2. Persiapan Perolehan Variabel Kecepatan.....	23
3.1.2.1. Persiapan Alat Pengujian .....	23
3.1.2.2. Persiapan Instrumentasi Pengukuran .....	26
3.1.2.3. Pengerjaan.....	27
3.1.3. Prosedur Pengujian .....	27
3.1.4. Perolehan Kecepatan Aliran Fluida .....	27
3.2. Pemodelan.....	28
3.2.1. Desain Siklon <i>Burner</i> .....	29
3.2.2. <i>Meshing</i> dan <i>Boundary</i> .....	31
3.2.3. Prosedur Pra-Proses Simulasi .....	34
<b>BAB IV. HASIL DAN ANALISIS.....</b>	<b>40</b>
4.1. Perolehan Laju Kecepatan .....	40
4.2. Penentuan Nilai Variabel Kondisi Batas .....	40
4.2.1. Bilangan Reynolds setiap Variabel Kecepatan.....	42
4.2.2. Intensitas Turbulensi Awal .....	42
4.2.3. Energi Kinetik Turbulensi Awal.....	43
4.2.4. Laju Disipasi Turbulensi Awal .....	43
4.3. Hasil Simulasi dan Analisis .....	44
4.3.1. Analisis Kecepatan.....	44
4.3.2. Analisis Energi Kinetik Turbulen .....	45
4.3.3. Analisis Intensitas Turbulensi.....	47
4.3.4. Kontur Kecepatan .....	47
4.3.5. Kontur Energi Kinetik Turbulen .....	49
4.3.6. Kontur Intensitas Turbulensi.....	51
4.4. Validasi Hasil Simulasi .....	51
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran .....	54



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Cyclone Burner</i> di P3TKEBTKE.....	2
Gambar 1.2. Gambar Alat Pengujian Siklon <i>Burner</i> .....	2
Gambar 2.1. Siklon <i>Burner</i> di P3TKEBTKE .....	7
Gambar 3.1. Penyambungan Pipa Fleksibel dengan <i>Mixing Chamber</i> .....	24
Gambar 3.2. Penyambungan Pipa Fleksibel dengan Siklon <i>Burner</i> .....	24
Gambar 3.3. Penyambungan <i>Blower</i> dan Venturimeter dengan Lem Silikon.....	25
Gambar 3.4. Venturimeter .....	25
Gambar 3.5. Penyambungan Venturimeter dengan <i>Mixing Chamber</i> .....	25
Gambar 3.6. <i>Inverter Blower</i> (Kiri) dan <i>Feeder</i> .....	26
Gambar 3.7. Venturimeter berdasarkan standar <i>BSI B.S. 7405 (1991)</i> .....	27
Gambar 3.8. Siklon <i>Burner</i> Tampak Samping Berikut Titik-Titik Pengukuran.....	30
Gambar 3.9. Interior Siklon <i>Burner</i> sebagai Model Padat.....	30
Gambar 3.10. Penentuan <i>Inlet</i> Kecepatan pada Siklon <i>Burner</i> .....	32
Gambar 3.11. Menu <i>Mesh</i> pada Program <i>ANSYS® Meshing™</i> .....	33
Gambar 3.12. Jumlah Simpul dan Elemen <i>Mesh</i> yang Terbentuk.....	33
Gambar 3.13. <i>Meshing</i> dan Zona Batas pada Siklon <i>Burner</i> .....	34
Gambar 3.14. Menu Launcher <i>Fluent</i> .....	35
Gambar 3.15. Pengaturan Menu <i>General/Umum</i> .....	35
Gambar 3.16. Penentuan Model Viskos Aliran dalam Siklon <i>Burner</i> .....	36
Gambar 3.17. Material Fluida yang Digunakan untuk Simulasi .....	37
Gambar 3.18. Pilihan Menu <i>Boundary Conditions/Kondisi Batas</i> .....	37
Gambar 3.19. Menu Pengaturan <i>Velocity Inlet</i> .....	38
Gambar 3.20. Menu Pengaturan Kondisi Operasi .....	38
Gambar 3.21. Menu Pengaturan <i>Reference Value</i> .....	39
Gambar 4.1. <i>Plane</i> yang Akan Dilihat Hasilnya.....	41
Gambar 4.2. Grafik Kecepatan setiap <i>Plane</i> .....	44
Gambar 4.3. Grafik Energi Kinetik Turbulen setiap <i>Plane</i> .....	45
Gambar 4.4. Grafik Intensitas Turbulensi setiap <i>Plane</i> .....	47
Gambar 4.5. Kontur Kecepatan setiap Kondisi Kecepatan.....	48
Gambar 4.6. Kontur Energi Kinetik Turbulen setiap Variabel Kecepatan <i>Inlet</i> .....	49
Gambar 4.7. Kontur Intensitas Turbulensi setiap Variabel Kecepatan <i>Inlet</i> .....	51
Gambar 4.8. Perbandingan antara Grafik Kecepatan Hasil Simulasi (Merah) dengan Hasil Eksperimen (Biru).....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Karakteristik dan Perbedaan Jenis Pembakar Batu Bara..... 12



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 3.1. *Flowchart* Urutan Proses Simulasi CFD

Lampiran 4.1. Tabel Himpunan Variabel Kondisi Batas Awal



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Judul Penelitian

**Analisis Karakteristik Turbulensi dalam Siklon *Burner* dengan Metode *Computational Fluid Dynamics***

### 1.2 Latar Belakang

Siklon *Burner* adalah tungku yang berbentuk silinder horizontal didalamnya bahan bakar di bakar. Bahan bakar yang digunakan bervariasi, dari batubara, kayu, kulit kayu (*bark*), arang batubara, sampah, minyak dan gas. *Cycloburner* dikembangkan pada tahun 1942 oleh Babcock & Wilcox untuk pembakaran serbuk batubara, siklon tungku batubara pakan secara spiral ke dalam ruang bakar untuk efisiensi pembakaran yang maksimal. (*Steam: Its Generation and Use*, 2005)

Keunggulan dari penggunaan serbuk batubara adalah materialnya yang berbentuk serbuk memudahkannya untuk terbakar. Serbuk batubara memerlukan perlakuan khusus yaitu dengan proses pembakar siklon, prosesnya adalah dengan meniupkan batubara bersama udara pembakar secara tangensial, sehingga bubuk batubara berputar dan terbakar dalam ruang siklon tersebut secara intensif disebabkan oleh tingkat turbulensi yang tinggi tercipta dalam ruang bakar siklon sehingga terjadilah pembakaran yang sempurna (Denny Surindra, 2012).



*Gambar 1.1 Cyclone Burner di P3TKEBTKE  
(a) Tampak depan dan (b) Tampak samping*

P3TKEBTKE, BALITBANG ESDM merupakan lembaga yang melakukan penelitian mengenai masalah tersebut. Salah satu riset atau penelitiannya yang berada di Lab.Boiler yaitu Siklon Burner berbasis pembakaran bahan bakar batubara untuk pengembangan Pembangkit Tenaga Listrik di Indonesia.

Modifikasi dan pengembangan telah dilakukan pada pembakar siklon. Pengembangan tersebut meliputi laju bahan bakar ditingkatkan untuk skala 4-2.500 kg/jam, bahkan untuk ke depannya berencana ditingkatkan lagi sampai 3000-4000 kg/jam untuk penggunaan skala besar seperti ketel uap di pabrik besar, untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan proses-proses pembakaran skala besar lainnya dengan bahan bakar batubara halus (-30 mesh). (Sumaryono dkk, 2009) [4].



*Gambar 1.2. Gambar Alat Pengujian Siklon Burner*

Pada perkembangannya Siklon Burner menimbulkan banyak masalah. Salah satu yang masalah yang terjadi adalah belum diketahuinya fenomena turbulensi dalam ruang bakar. Sehingga perlu dilakukan penyelesaian, yaitu dengan melakukan simulasi CFD.

### 1.3. Perumusan Masalah

Penulis menemukan kesulitan setiap kali melakukan pengujian untuk pengambilan data. Kesulitan yang ditemukan terletak baik pada system Siklon Burner dan proses penyalaan awal. Oleh karena itu, agar pengujian dan pengambilan data dapat sukses dilakukan maka kendala yang dapat ditemukan harus ditanggulangi sehingga kesalahan dapat diminimalkan. Permasalahan yang ditemukan antara lain sebagai berikut:

1. Proses penyalaan awal yang relatif lama, membutuhkan waktu  $\pm 60$  menit hingga temperatur Siklon stabil.
2. Proses pembuatan alat ukur venturimeter yang digunakan untuk mengukur aliran udara, dengan mencari literatur/referensi dan material berdasarkan acuan *British Standards Institution* yaitu B.S. 7405 (1991) (*British Standards Institution*, 1991)
3. Terjadinya ketidakmerataan dan penyumbatan pada proses *feeding* pada bahan bakar batubara akibat terjadi penggumpalan bahan bakar pada screw sehingga bahan bakar batu bara yang masuk ke *feeding* tidak merata dan menyebabkan beberapa saat kekosongan bahan bakar. Hal ini berakibat pada tidak munculnya flame beberapa saat di burner.
4. Proses pencampuran bahan bakar dan udara yang terjadi sebelum inlet sehingga menyebabkan pembakaran bersifat premix. Menyebabkan proses turbulensi yang tinggi sehingga telah terjadi proses pembakaran sesaat setelah *inlet*.

5. Bentuk turbulensi aliran fluida dalam siklon burner tidak dapat diamati secara langsung karena sambungan dan bukaan siklon *burner* harus selalu ditutup ketika dilakukan pengujian.

#### **1.4. Tujuan Penulisan**

Tujuan yang hendak dicapai oleh penulis yaitu untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik turbulensi di dalam ruang bakar siklon *burner*. Adapun tahap dan proses yang dilakukan guna memenuhi tujuan dari penelitian ini adalah penulis harus memperoleh berbagai parameter yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui karakteristik kecepatan, intensitas turbulensi, dan energi kinetik turbulensi dalam ruang siklon *burner*.
2. Memvariasikan kecepatan masuk ruang bakar untuk beberapa simulasi.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini supaya dapat lebih fokus adalah:

1. Dimensi siklon *burner* disesuaikan dengan alat uji yang ada dan tidak diubah.
2. Variasi kecepatan *inlet* dibatasi hingga 3 kondisi dan diasumsikan sama dengan kecepatan pada saat dihembuskan dari *blower*.
3. Semua parameter kondisi operasional (gaya gravitasi, tekanan dan massa jenis atmosfer) disesuaikan dengan nilai literatur yang paling umum digunakan.

#### **1.6. Metodologi Penelitian**

1. Menentukan objek penelitian
2. Melakukan studi literatur

3. Pengujian alat untuk keperluan simulasi
4. Menggambar objek penelitian
5. Melakukan simulasi objek penelitian dengan batasan yang telah ditentukan
6. Memperoleh hasil simulasi dan menganalisisnya
7. Membuat kesimpulan

### 1.7. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis akan membagi dalam lima bab, yang masing-masing terdiri dari beberapa sub bab. Pembagian tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dan mengarahkan pembahasan agar didapatkan informasi yang jelas secara menyeluruh. Kerangka penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

#### **BAB I            PENDAHULUAN, berisi :**

Latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

#### **BAB II            DASAR TEORI, berisi :**

Desain, karakteristik, dan pemnafaatan dari siklon *burner*, parameter pada kondisi awal (bilangan Reynolds, intensitas turbulensi, energi kinetik turbulen, dan laju disipasi turbulen), metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

#### **BAB III            PENGUJIAN DAN PENGUKURAN, berisi :**

Tahapan simulasi pra-proses dan proses CFD dengan perangkat lunak ANSYS Workbench v15.0 yang terdiri atas: pemodelan 3D

dengan DesignModeller, *meshing* dengan bantuan Meshing, dan proses simulasi dengan Fluent

**BAB IV HASIL DAN ANALISIS, berisi :**

Perolehan dan pengolahan data hasil simulasi dalam bentuk grafik dan kontur dengan perangkat lunak CFD-Post

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi :**

Pengambilan kesimpulan hasil simulasi yang dilengkapi dengan usulan serta saran yang diharapkan dapat membantu kesempurnaan penelitian.



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. Gambaran Mengenai Siklon *Burner*

#### 2.1.1. Siklon *Burner* di P3TKEBTKE

Siklon *Burner* yang berada di Lab.Boiler P3TKEBTKE memiliki perbedaan jika dibandingkan dengan siklon *burner* lainnya. Siklon *Burner* tersebut menggunakan bahan bakar serbuk batubara yang berukuran -30 mesh sedangkan yang lain masih menggunakan butiran batubara 200 mesh. Selain itu , Siklon *Burner* di P3TKEBTKE memiliki komponen batu api untuk mempertahankan stabilitas panas sehingga panas tidak mudah hilang.

Siklon *Burner* di P3TKEBTKE merupakan kepemilikan dari TekMIRA yang dibuat oleh Sumaryono (2009). Kemudian dikembangkan dan diteliti di Lab.Boiler P3TKEBTKE. Siklon *Burner* ini telah didaftarkan hak patennya yaitu Paten : ID P 0033147 (TekMIRA, 2010).



(a)

(b)

Gambar 2.1. Siklon *Burner* di P3TKEBTKE tampak (a) depan dan (b) samping.

### 2.1.2. Spesifikasi dan Karakteristik pada Sistem Siklon *Burner*

#### 1. Dimensi dan Spesifikasi Siklon *Burner* :

- Terbuat dari lapisan plat baja silinder 3 mm, 5 mm,  $\phi$  100 cm,
- Memiliki panjang 170 cm,
- Lining batu quartz (batu tahan api) dengan ketebalan 15 cm
- Semen api SK 36
- Castable C 15,5,
- Isolator Ca-Silikat,
- Slag atau fouling dengan ketebalan 3-5 cm.

#### 2. Perlengkapan :

- *Blower* : 2 pk, 1490 CFM, 2950 rpm dengan transisi Bernoulli
- Feeder :  $\frac{1}{2}$  pk bin 80 kg, pelat 2mm, *inverter*  $\frac{1}{2}$  pk
- Heating Furnace : 60 x 70 x 120 cm, batu quartz, UNP 15
- Panel listrik 20 KW

### 2.1.3. Karakteristik Siklon *Burner*

Siklon *Burner* di tekMIRA mempunyai karakteristik yang berbeda dengan Siklon *Burner* Babcock & Wilcox (B&W). Siklon *Burner* B & W, digunakan untuk membakar batubara *High Rank* yang memiliki nilai kalor di atas 6300 kkal. Hal ini menyebabkan Siklon *Burner* B&W mempunyai temperature pelelehan yang tinggi (sekitar 1700°C) karena mempunyai nilai kalor yang tinggi. [4]

Karakteristik dari Siklon *Burner* tekMira:

- Memiliki bentuk silinder.
- Membakar batubara 30 mesh.
- Tepung batubara masuk secara tangensial .
- Pusaran Turbulensi Tinggi .

- Pembakaran cepat, temperatur 1100 - 1500°C atau lebih .
- *Lining quartz* atau batu kuarsa dalam ruang bakar (batu api) .

Tahan panas hingga suhu 1725°C, mengandung *sensible heat* besar sehingga daya simpan panas besar..

- Pembakaran sempurna

Tidak ada emisi *cenosphere* atau asap

Residu C dalam *bottom ash* kecil

- Tidak perlu *scrubber, cyclone separator*

#### 2.1.4. Proses Pembakaran dalam Siklon Burner

Batubara yang digunakan pada Siklon Burner terlebih dahulu dihancurkan dan dihaluskan hingga menjadi serbuk batubara yang berukuran 30 *mesh* atau 0,595 mm sebelum dibakar. Setelah itu serbuk batubara dimasukkan dan ditiupkan bersama dengan udara pembakar secara tangensial, sehingga bubuk batubara berputar dan terbakar dalam ruang siklon tersebut secara intensif disebabkan oleh tingkat turbulensi yang tinggi tercipta dalam ruang bakar siklon sehingga terjadilah pembakaran yang sempurna (Denny Surindra, 2012). Secara spesifik serbuk batubara dimasukkan ke dalam Siklon Burner melalui *feeder* untuk selanjutnya diteruskan ke *mixing chamber*, tempat dimana batubara dan udara dari *blower* bertemu dan bercampur. Kemudian udara akan membawa dan meniupkan batubara ke dalam Siklon Burner melalui *inlet* burner. Batubara dan udara yang bercampur masuk melalui *inlet* burner secara tangensial sehingga menyebabkan aliran berputar (siklon) dan menyusur dinding bagian dalam silinder siklon dengan aliran berputar (siklon) yg menghasilkan tingkat turbulensi yg tinggi. [4]

Di dalam Siklon Burner terjadi proses pembakaran yang mengandung tiga unsur berikut, yaitu :

1. Waktu (Time)

Batubara dan udara memerlukan waktu persentuhan (*contact time*) yang cukup untuk saling menyatu dalam pencampuran.

2. Temperatur

Suhu yang tinggi dan cukup dibutuhkan agar kombinasi batubara dan udara dapat menimbulkan *ignition* sehingga diharapkan dapat menciptakan nyala api.

3. Turbulensi

Untuk menimbulkan kontak yang sempurna antara udara dengan batubara sehingga dapat tercapai pembakaran yang baik.

Setelah semua tercapai dan proses yang terjadi telah homogen maka timbul proses pembakaran (nyala api). Dalam hal ini pengaturan udara dan bahan bakar yang tepat sangat diperlukan agar proses pembakaran stabil.

Intensitas pembakaran batubara dalam ruang siklon tinggi dapat menghasilkan temperatur pembakaran yang handal dan stabil diantara 1.200-1.400 derajat Celsius untuk batu bara muda. Temperatur yg tinggi dapat mencapai 1.600 derajat Celsius untuk batu bara bituminous dengan batubara berperingkat tinggi.

Di dalam Siklon Burner terdapat batu kuarsa yang berfungsi untuk menyimpan panas sehingga panas atau *heat* yang ada tetap terjaga dan tidak mudah hilang. Selain itu abu, slag, atau fouling yang terjadi akibat proses pembakaran pada Siklon Burner nantinya akan di buang melalui slag tank dan sisanya tersaring di dalam Siklon Burner itu sendiri sehingga tidak ikut terbawa ke Boiler. Hal ini membuat kinerja Boiler meningkat dan tahan lama. [4]

### 2.1.5. Keunggulan dan Perbedaan Siklon *Burner*

Keunggulan dari Siklon Burner adalah dapat menggunakan batu bara peringkat rendah. Selain itu bahan bakar pada Siklon Burner juga dapat dicampur dengan biomassa seperti bahan bakar batu bara yang dicampur dengan biomassa. Hal ini turut meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang dari pembakaran. [4]

Siklon Burner memiliki sistem yang sama dengan pulverized coal combustion. Namun memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pulverized coal combustion, antara lain :

1. Mengurangi kandungan abu terbang (*fly ash*) dalam *flue gas*.
2. Menghemat dalam biaya perlakuan awal dari batubara sebelum dibakar, karena hanya crusher saja yang digunakan bukan pulverized. Karena ukuran yang diijinkan semakin besar.
3. Mengurangi ukuran ruang bakar pada boiler dan meningkatkan efisiensi boiler karena abu dan slag tidak ikut terbawa.

Berikut beberapa karakteristik dan perbedaan dari jenis-jenis pembakar batubara [4]:

Tabel 2.1. Karakteristik dan Perbedaan Jenis Pembakar Batu Bara

<b>Parameter</b>	<b><i>Stoker Coal Burner</i></b>	<b><i>Pulverized Coal Burner</i></b>	<b><i>Siklon Burner TekMIRA</i></b>	<b><i>Fluidized Bed Burner</i></b>
<b>Ukuran umpan</b>	1 cm – 15 mm	1cm– 0,075mm	30mesh (0,59mm)	< 10 mm
<b>Jenis umpan</b>	Batubara kualitas rendah	Batubara kualitas rendah	Batubara kualitas rendah dan biomassa	Batubara kualitas rendah dan biomassa
<b>Temperatur</b>	600 °C	800 - 1000 °C	> 1000 °C	800-900 °C
<b>Permasalahan</b>	Abu tetap tinggal di atas kisi dan emisi yang tinggi	Abu, <i>Slag</i> , atau <i>Fouling</i> ikut terbawa ke <i>Boiler</i>	<i>Slag</i> atau <i>Fouling</i> menempel di <i>Burner</i>	Konversi Karbon

## 2.2. Jenis Aliran

### 2.2.1. Aliran Laminar

Aliran laminar merupakan aliran yang membentuk lapisan lurus dan tidak memiliki penyimpangan arah partikel udara sehingga tidak ada pertumbukan antar partikel di dalam alirannya. Dalam bilangan *Reynolds*, umumnya aliran laminar memiliki nilai di bawah 2300. [7]

### 2.2.2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran yang mana pergerakan partikel dalam fluidanya sangat tidak menentu atau acak karena dalam kondisi tersebut, percampuran dan tumbukan antar partikel fluida sangat umum terjadi sehingga ada fenomena yang dinamakan saling tukar momentum Bilangan *Reynolds* yang dimiliki aliran jenis umumnya bernilai di atas 4000. [7]

### 2.2.3. Aliran Transisi

Aliran ini merupakan jenis aliran peralihan antara aliran laminar dengan aliran turbulen. Bentuk aliran fluida ini bisa mendekati salah satu di antara kedua aliran tersebut tergantung faktor lingkungannya. Biasanya aliran transisi terjadi ketika bilangan *Reynolds* berada di antara 2300 hingga 4000. [7]

## 2.3. Parameter Pada Kondisi Awal

### 2.3.1. Bilangan Reynolds

Merupakan bilangan atau parameter yang digunakan untuk menentukan jenis aliran udara dalam pipa atau saluran apakah aliran fluida yang mengalir tersebut masuk ke dalam antara laminar atau turbulen. [3] Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan bilangan Reynolds adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.1)$$

Dengan *Re* melambangkan bilangan Reynolds, *v* adalah kecepatan aliran fluida, *D* merupakan garis tengah dari saluran yang dilalui oleh fluida, dan  $\mu$  sebagai viskositas aliran fluida (Flórez-Orrego, Arias, López, & Velásquez, 2012).

### 2.3.2. Diameter Hidrolik

Salah satu penyelesaian dalam pengolahan data aliran fluida dalam sebuah medium adalah menggunakan diameter hidrolik. Diameter hidrolik membantu menentukan parameter *D* yang digunakan pada persamaan 2.1. agar bisa diperoleh bilangan Reynolds, sehingga bisa diketahui apakah aliran tersebut bersifat laminar atau turbulen (Flórez-Orrego, Arias, López, & Velásquez, 2012).

Persamaan yang umum digunakan untuk mencari nilai diameter hidrolis adalah sebagai berikut:

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (2.2)$$

Di mana  $D_H$  merupakan diameter hidrolis,  $A$  merupakan luas penampang dari saluran fluida, dan  $P$  merupakan keliling penampang saluran fluida. Merujuk pada siklon *burner* di atas, persamaan  $D_H$  yang akan dimiliki oleh *inlet burner* adalah sebagai berikut:

$$D_H = \frac{4A}{P}$$

$$D_H = \frac{4(\pi r^2)}{(2\pi r)} = 2r = D \quad (2.3)$$

Dengan  $D$  merupakan diameter dari *inlet burner* (Flórez-Orrego, Arias, López, & Velásquez, 2012).

### 2.3.3. Intensitas Turbulensi

Intensitas turbulensi merupakan penskalaan karakteristik turbulensi aliran fluida dalam bentuk persentase [6]. Persamaan yang umum digunakan untuk menentukan Intensitas Turbulensi adalah:

$$I = \frac{u'}{U} \quad (2.4)$$

Dengan  $I$  merupakan intensitas turbulensi,  $u'$  merupakan deviasi standar kecepatan yang mengalir dalam periode tertentu, dan  $U$  merupakan kecepatan rata-rata aliran dalam periode tersebut. Untuk aliran yang bersifat pengembangan penuh pada kondisi awal, persamaan yang digunakan adalah:

$$I = 0.16Re^{-\frac{1}{8}} \quad (2.5)$$

Dengan  $Re$  merupakan bilangan Reynolds yang dimiliki aliran. Jika aliran yang mengalir pada pipa atau saluran bersifat laminar, maka tidak ada intensitas turbulensi di dalam aliran tersebut (Flórez-Orrego, Arias, López, & Velásquez, 2012).

#### 2.3.4. Energi Kinetik Turbulen

Energi Kinetik Turbulen (TKE) merupakan besaran energi kinetik setiap satuan massa dalam aliran fluida yang mengalir. Parameter TKE tidak kalah penting dengan TI, yang mana dengan mengetahui nilai TKE, maka fenomena percampuran dan tumbukan antara partikel fluida terbesar dalam ruangan dapat dilihat. Besarnya TKE pada kondisi awal ditentukan pada persamaan berikut:

$$k = \frac{3}{2} (vI)^2 \quad (2.6)$$

Dengan  $k$  melambangkan besaran TKE,  $v$  merupakan kecepatan aliran fluida, dan  $I$  merupakan intensitas turbulensi (Flórez-Orrego, Arias, López, & Velásquez, 2012).

#### 2.3.5. Laju Disipasi Turbulen

Laju disipasi turbulen ( $\varepsilon$ ) merupakan salah satu parameter yang penting dalam turbulensi bersama dengan energi kinetik turbulen yang menyatakan laju kehilangan energi terhadap waktu (Abderrahim & Thalbi, 2008). Persamaan yang digunakan untuk mengetahui laju disipasi turbulen pada kondisi awal adalah:

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{l} \quad (2.7)$$

Di mana  $\varepsilon$  merupakan laju disipasi turbulen  $k$  merupakan energi kinetik turbulen,  $C_\mu$  merupakan konstanta empiris yang digunakan dalam model turbulensi (untuk model RNG pada umumnya nilai yang digunakan adalah 0.0845), dan  $l$  merupakan panjang intensitas turbulensi dengan persamaan  $l = 0.07D$  untuk aliran pengembangan penuh. [2]

## 2.4. Persamaan Navier-Stokes

Persamaan ini menjelaskan bagaimana parameter-parameter penting seperti kecepatan, tekanan, suhu, dan massa jenis dari fluida bergerak tersebut saling berhubungan. Persamaan ini diturunkan secara mandiri oleh G.G Stokes di Inggris dan M Navier di Prancis pada awal abad ke-19. Persamaan ini merupakan perpanjangan dari persamaan Euler dan efek viskositas fluida termasuk di dalamnya. [5]

Persamaan ini ditentukan dari persamaan diferensial yang berpasangan dan bisa diselesaikan pada persoalan aliran yang diberikan dengan menggunakan metode kalkulus secara teoritis. Tapi, pada praktiknya, persamaan ini sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Persamaan Navier-Stokes terdiri dari persamaan kontinuitas terhadap waktu untuk konservasi massa, tiga persamaan konservasi momentum terhadap waktu untuk masing-masing arah X, Y, dan Z, serta persamaan konservasi energi terhadap waktu. Ada empat variabel independen dalam beberapa persamaan Navier-Stokes, yaitu koordinat x, y, dan z, serta waktu t. Terdapat pula 6 variabel yang bersifat dependen atau bergantung pada variabel lainnya, yaitu tekanan (p), massa jenis ( $\rho$ ), suhu (T) yang terkandung dalam persamaan energi melalui energi total Et, dan 3 komponen vektor kecepatan (komponen u untuk arah x, komponen v untuk arah y, dan komponen w untuk arah z. Semua variabel yang dependen tersebut merupakan fungsi dari semua variabel independen, sehingga semua persamaan diferensial adalah persamaan diferensial parsial (dilambangkan dengan simbol  $\partial$ ). [5]

Persamaan Navier-Stokes untuk kontinuitas ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

Persamaan yang menjelaskan konservasi momentum pada arah masing-masing x, y, dan z adalah sebagai berikut:

Momentum arah X:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left[ \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] \quad (2.9)$$

Momentum arah Y:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left[ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right] \quad (2.10)$$

Momentum arah Z:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left[ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right] \quad (2.11)$$

Konservasi Energi ditentukan pada persamaan di bawah berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_T)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_T)}{\partial z} = & -\frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r} \left[ \frac{\partial q_x}{\partial x} + \right. \\ & \left. \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] + \frac{1}{Re_r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + \right. \\ & \left. v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right] \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dengan  $Re$  sebagai bilangan Reynolds, variabel  $q$  merupakan komponen *heat flux*, dan  $Pr$  merupakan bilangan Prandtl yang merupakan parameter kemiripan sebagai rasio tegangan viskos terhadap tegangan thermal. Variabel tau ( $\tau$ ) adalah komponen tensor tegangan. Sebuah tensor dihasilkan ketika 2 vektor dikalikan dengan cara tertentu. Dengan adanya 3 komponen vektor kecepatan, maka tensor tegangan memiliki Sembilan komponen. Setiap komponen dari tensor tegangan sendiri merupakan penurunan kedua dari komponen kecepatan. [5]

Istilah persamaan pada sebelah kiri dari persamaan momentum disebut persamaan konveksi persamaan. Konveksi adalah proses fisik yang terjadi dalam aliran gas di mana properti-properti diangkut oleh gerakan aliran teratur. Istilah persamaan pada

sebelah kanan dari persamaan momentum yang dikalikan dengan bilang invers Reynolds disebut persamaan difusi. Difusi adalah proses fisik yang terjadi dalam aliran gas yang mana property-property diangkut gerakan acak molekul dan gas. Difusi berkaitan dengan tensor stress dan terhadap viskositas gas. Turbulensi dan pembangkitan lapisan batas merupakan hasil dari difusi dalam aliran. [5]

## 2.5. Persamaan K-Epsilon

Persamaan K-Epsilon 2 persamaan memungkinkan untuk menentukan panjang turbulensi dan skala waktu dengan menyelesaikan dua persamaan berbeda. Kekasaran dan akurasi suatu persamaan dapat diandalkan dengan persamaan ini. Walau demikian, persamaan ini hanya dapat digunakan pada aliran fluida yang bersifat turbulen penuh. [2] Persamaan Transpor untuk  $k$  ditentukan sebagai:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_K + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_K \quad (2.13)$$

Sementara, untuk Persamaan Transpor Epsilon ditentukan sebagai:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_K + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2.14)$$

Kedua persamaan di atas mengikuti persamaan momentum. Pada kedua persamaan di atas  $G_K$  mewakili pembangkitan energi kinetik turbulen karena gradient kecepatan rata-rata,  $G_b$  adalah pembangkitan energi kinetik turbulen karena buoyansi,  $Y_M$  adalah kontribusi dari dilatasi yang berfluktuasi dalam turbulensi mampu mampat terhadap laju disipasi keseluruhan,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$ , dan  $G_{3\varepsilon}$  adalah konstanta,  $\sigma_k$  dan  $\sigma_\varepsilon$  merupakan bilangan Prandtl turbulen untuk masing-masing energi kinetik turbulen sebagai konduktivitas ( $k$ ) dan laju disipasi energi ( $\varepsilon$ ), serta  $S_K$  dan  $S_\varepsilon$  merupakan konstanta sumber yang ditentukan sendiri oleh penggunaannya. [2]

## 2.6. Teknik Komputasi

Untuk menunjang penelitian dan pengamatan turbulensi di dalam ruang bakar, maka digunakanlah perangkat lunak komputer untuk mensimulasikan fenomena tersebut, yaitu *Computational Fluid Dynamics*. *Computational Fluid Dynamics* ialah teknik komputasi yang berguna untuk menghitung fenomena dinamika fluida dalam suatu medium dengan menggunakan teknik komputasi. Ada beberapa keuntungan dan manfaat dari menggunakan perangkat lunak CFD, yaitu:

1. Hasil simulasi dan perhitungan ditampilkan jauh lebih cepat dan akurat jika dibandingkan dengan harus melakukan kalkulasi manual.
2. Dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan untuk sebuah perancangan, yaitu sebagai alat untuk mendesain sebuah objek tanpa harus membuat model nyatanya.
3. Dapat digunakan sebagai alat penelitian terhadap beberapa objek tertentu di mana objek tersebut sangat sulit dan berbahaya jika dilakukan pengamatan secara langsung, misal alat pembakaran, pembangkitan daya, dan sebagainya (Tu, Yeoh, & Liu, 2008).

Pada umumnya, tahapan proses CFD yang dikenal secara umum ada tiga, yaitu:

### 1. Pra-Proses

Merupakan tahapan awal pada teknik CFD sebelum dilakukan iterasi untuk perolehan hasil simulasi. Biasanya melibatkan penentuan pemodelan sebuah medium baik dalam bentuk 2D maupun 3D, penentuan *meshing* atau *grid*, wilayah dan kondisi batas, parameter-

parameter kondisi awal, pemodelan aliran yang digunakan, dan metode penyelesaiannya. Setelah semuanya lengkap dan selesai dimasukkan, kemudian dilanjutkan pada tahap Proses.

## 2. Proses

Proses ini melibatkan perhitungan dan iterasi untuk perolehan hasil simulasi. Hasil iterasi bisa antara konvegen dan divergen. Biasanya syarat sebuah iterasi untuk memperoleh konvergensinya adalah dengan semua iterasi masing-masing variabel mencapai kriteria residual absolutnya.

## 3. Pasca-Proses

Tahapan ini biasanya melibatkan pemaparan hasil simulasi dalam berbagai bentuk, yaitu bisa berupa vektor, kontur, grafik, dan sebagainya untuk berbagai variabel yang digunakan sesuai keperluan (Tu, Yeoh, & Liu, 2008).

Agar dapat melakukan semua tahapan di atas, maka dalam simulasi ini ada satu perangkat lunak induk dengan 4 perangkat lunak di dalamnya yang bisa digunakan untuk keperluan simulasi aliran udara dan turbulensinya, yaitu ANSYS Workbench versi 15 sebagai perangkat lunak induknya serta 4 perangkat lunak di dalamnya adalah:

### 1. DesignModeller

Digunakan untuk membuat model 3D dari siklon dengan mengikuti dimensi pada alat uji nyata dan gambar teknik yang sudah dibuat sebelumnya.

### 2. Meshing

Perangkat lunak ini berguna untuk menentukan jenis *meshing* yang hendak digunakan dan zona batas pada model yang digunakan, misalnya *inlet* dan *outlet*. Output dari hasil *meshing* ini adalah sejumlah

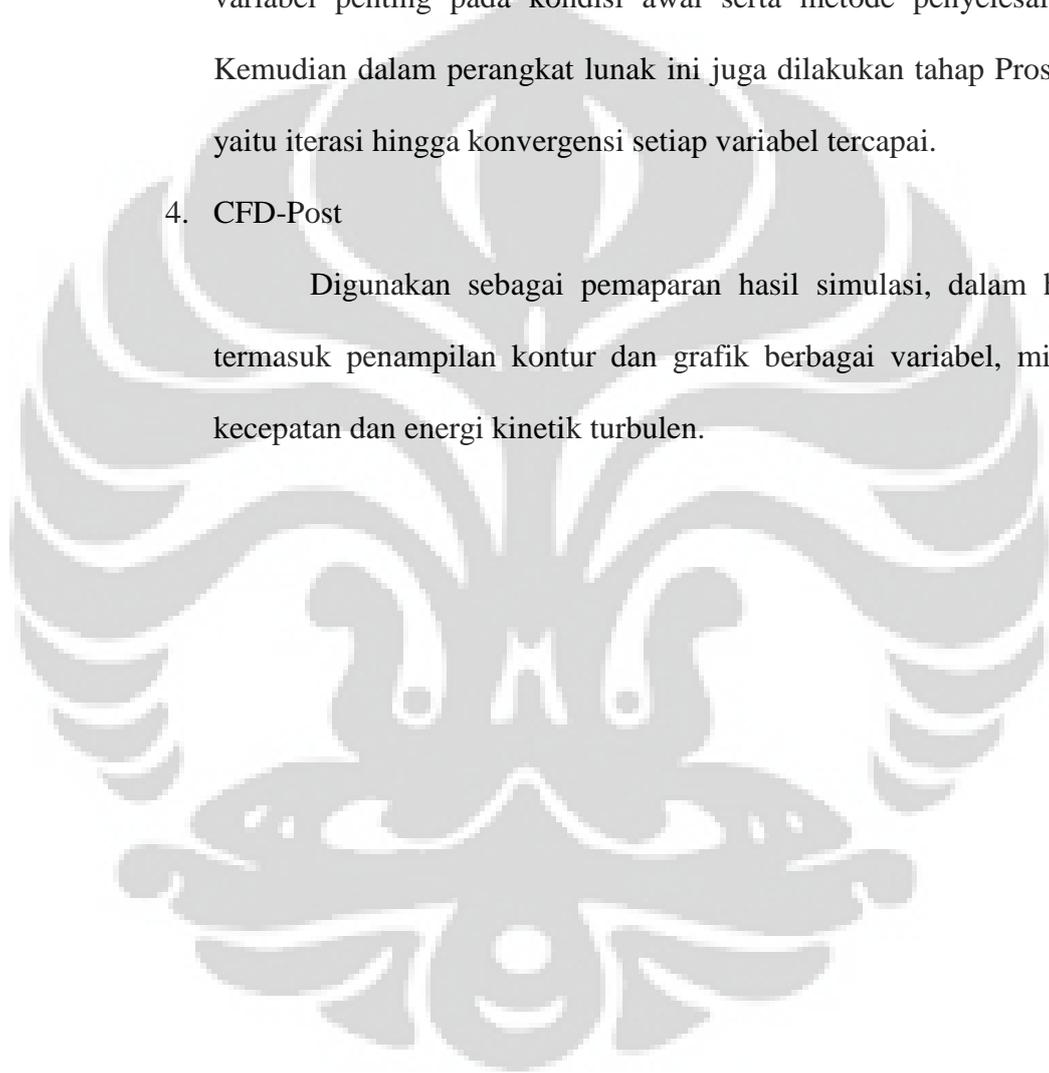
*grid* atau *mesh* dan *node* dalam model tersebut. Catatan: Jumlah *mesh* dalam suatu model serta penyusunannya sangat menentukan akurasi hasil simulasi pada model itu. (Tu, Yeoh, & Liu, 2008)

### 3. Fluent

Digunakan untuk menentukan berbagai pemodelan aliran dan variabel penting pada kondisi awal serta metode penyelesaiannya. Kemudian dalam perangkat lunak ini juga dilakukan tahap Prosesnya, yaitu iterasi hingga konvergensi setiap variabel tercapai.

### 4. CFD-Post

Digunakan sebagai pemaparan hasil simulasi, dalam hal ini termasuk penampilan kontur dan grafik berbagai variabel, misalnya kecepatan dan energi kinetik turbulen.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metodologi Penelitian**

##### **3.1.1. Persiapan Alat**

###### **3.1.1.1. Identifikasi Masalah yang Akan Dibahas**

Awal permasalahan terjadi pada alat ukur Venturimeter dimana untuk mendapatkan alat tersebut sulit karena saat ini penggunaan terhadap venturimeter sudah jarang. Selain itu ukuran Venturimeter yang dibutuhkan cukup besar untuk menyesuaikan pipa fleksibel dengan diameter sebesar 4 inci. Akhirnya dilakukan proses pembuatan dan fabrikasi venturimeter yang sesuai dengan menggunakan standar yaitu B.S. 7405 (1991) dan ISO 5167-1: 1991 sebagaia acuan. Alat ini dapat dipakai untuk mengukur laju aliran udara atau *flow rate*.

Permasalahan lain yang ditemukan adalah fenomena turbulensi aliran fluida dalam ruang bakar tidak dapat dilihat ketika dilakukan pengujian karena semua rangkaian dan bukaan harus selalu tertutup rapat untuk menjamin kinerja *burner* yang baik. Oleh karena itu, sebuah komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak *CFD* diperlukan untuk penggambaran dan simulasi guna mengetahui karakteristik aliran turbulen dalam ruang bakar siklon *burner*.

###### **3.1.1.2. Penelusuran Literatur yang Mendukung**

Studi literatur dilaukahn untuk mendapatkan acuan pada saat pemodelan ruang bakar dan simulasi turbulensi di dalamnya. Literatur yang diperoleh ialah dimensi model, kecepatan, intensitas turbulensi, dan energi kinetik turbulen. Dari situ pula diharapkan wilayah homogenitas aliran yang mempengaruhi tumbukan dan percampuran bahan bakar dengan fluida dapat diketahui.

### 3.1.1.3. Pengukuran Dimensi Siklon Burner

Pengukuran dimensi siklon burner dilakukan dengan menggunakan meteran. Parameter dimensi yang diukur termasuk panjang, diameter dalam dan luar burner, diameter inlet dan outlet, panjang leher outlet, dan sebagainya. Dengan ukuran yang diperoleh, proses pemodelan desain dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CAD seperti ANSYS DesignModeller.

### 3.1.1.4. Fabrikasi

Proses fabrikasi dilakukan di Lab. Boiler P3TKEBTKE yang berada di Cipulir, Jakarta. Fabrikasi yang dilakukan yaitu membuat alat ukur venturimeter, dengan mengacu pada literatur untuk mengetahui standar-standar dan material yang dipakai. Literatur yang digunakan yaitu berdasarkan acuan B.S. 7405 (1991) dan ISO 5167-1: 1991. Proses fabrikasi membutuhkan waktu selama tujuh hari.

## 3.1.2. Persiapan Perolehan Variabel Kecepatan

### 3.1.2.1. Persiapan Alat Pengujian

Proses persiapan alat memerlukan waktu kurang lebih 2 jam. Langkah yang dilakukan untuk melakukan *set-up* alat pengujian adalah sebagai berikut:

1. Merakit dan menghubungkan semua komponen utama sistem siklon burner (*blower-venturimeter- mixing chamber – pipa fleksibel-Siklon burner*). Setiap sambungan pipa fleksibel direkatkan dengan karet ban beberapa lapis dan tebal untuk mencegah kemungkinan kebocoran udara.



*Gambar 3.1. Penyambungan Pipa Fleksibel dengan Mixing Chamber*



*Gambar 3.2. Penyambungan Pipa Fleksibel dengan Siklon Burner*

2. Setiap sambungan (termasuk sambungan ke alat ukur venturimeter) atau flens, baik pipa PVC ataupun pipa fleksibel, serta bagian bagian yang rentan dimasuki udara luar seperti *casing blower* dan sambungan ke atau dari Venturi meter diberikan lem silicone. Kemudian setelah lem atau seal kering dilakukan pengujian kebocoran dengan cara menyalakan *blower* udara pada flow rate atau laju udara yang tinggi dan menyiramkan dan meratakan air sabun ke setiap sambungan. Apabila terjadi kebocoran maka akan timbul gelembung udara dan untuk mengatasinya yaitu dengan memberikan lem atau seal lagi yang banyak di tempat terjadinya gelembung udara tersebut.



Gambar 3.3. Penyambungan *Blower* dan Venturimeter dengan Lem Silikon



Gambar 3.4. Venturimeter



Gambar 3.5. Penyambungan Venturimeter dengan mixing chamber

### 3.1.2.2. Persiapan Instrumentasi Pengukuran

#### a. *Inverter Blower*

*Inverter* pada *blower* berfungsi untuk mengatur hembusan udara ke dalam siklon burner dan meniupkan serbuk batubara diiringi dengan udara pembakar yang cukup untuk proses pembakaran yang sempurna. Pengaturan *inverter* dilakukan dengan memutar tuas yang ada dan menentukan besarnya arus pada layar.

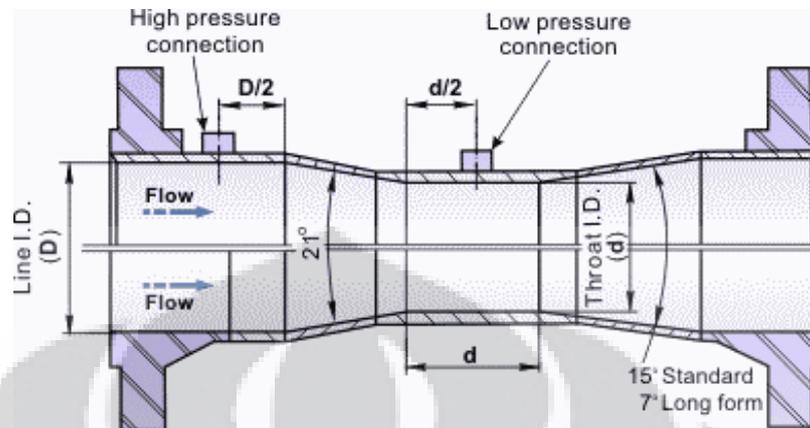


Gambar 3.6.. *Inverter Blower (Kiri) dan Feeder*

#### b. *Venturimeter*

Venturimeter adalah salah satu alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida udara. Venturimeter dapat dibagi menjadi 4 bagian utama yaitu Bagian *Inlet*, *Inlet cone*, *Throat* (leher), dan *Outlet cone*. Prinsip kerja venturimeter yaitu udara yang dihembuskan dari *blower* kemudian memasuki bagian tengah yang sempit. Venturimeter dilengkapi dengan manometer yang diisi dengan zat cair, biasanya air. Nantinya udara yang memasuki bagian tengah yang sempit akan mengalami perbedaan tekanan dan kecepatan yang ditandai dengan perbedaan ketinggian dari kedua permukaan

zat cair yang berada di manometer. Acuan yang digunakan dalam pembuatan venturimeter adalah B.S. 7405 (1991) dan ISO 5167-1: 1991.



Gambar 3.7. Venturimeter berdasarkan standar BSI B. S. 7405 (1991)

### 3.1.2.3. Pengerjaan

Pemasangan Venturimeter ditujukan untuk mengetahui flow rate udara yang terdapat pada *blower*. Pemasangan venturimeter harus dipasang sebaik mungkin untuk menghindari terjadinya kebocoran udara karena kekuatan *blower* yang sangat besar.

### 3.1.3. Prosedur Pengujian

Proses pengujian terhadap Siklon Burner dilakukan dengan cara melakukan pengujian running test. Untuk mendapatkan variasi data yang lebih banyak maka dilakukan beberapa variasi data.

### 3.1.4. Perolehan Kecepatan Aliran Fluida

Mengacu pada standar *British Standards Institution B. S. 7405 (1991)*, perhitungan laju udara atau flow rate dilakukan dengan menyalakan *inverter blower* udara intake sebelum dilakukan proses penyalaan awal dan running sehingga didapatkan hasil pada venturimeter dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$v = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- $v$  : kecepatan aliran penampang pipa lebar ( $m/s$ )
- $A_1$  : Luas penampang pipa besar ( $m^2$ )
- $A_2$  : Luas penampang pipa kecil ( $m^2$ )
- $\rho'$  : massa jenis fluida dalam manometer ( $kg/m^3$ )
- $\rho$  : massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )
- $g$  : gaya gravitasi ( $m/s^2$ )

### 3.2. Pemodelan

Simulasi pada eksperimen kali ini dilakukan melalui beberapa tahap, di antaranya:

1. Pemodelan interior siklon *burner* sebagai objek solid dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS DesignModeller.
2. Mesh dan *pemberian* Boundary dilakukan dengan menggunakan ANSYS® Meshing™.
3. Perangkat lunak ANSYS FLUENT digunakan untuk melakukan simulasi
4. Hasil iterasi dan simulasi CFD ditampilkan melalui ANSYS CFD-Post.

Keempat program di atas dijalankan melalui satu program yang berfungsi untuk menghimpun semua program milik ANSYS, yaitu Workbench versi 15.0. Asumsi yang digunakan untuk simulasi adalah:

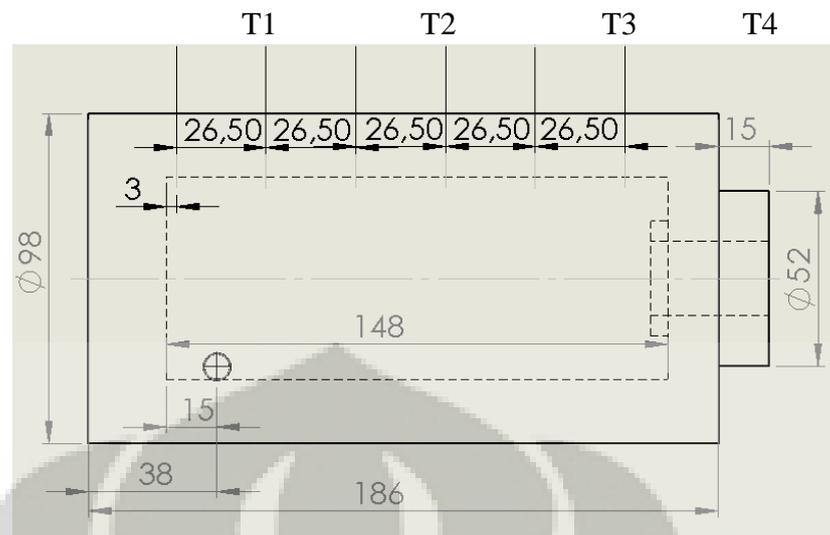
1. 3 variabel kecepatan yang diperoleh dari pengukuran aliran fluida dalam venture meter yang dihembuskan dari *blower*,
2. Udara sebagai medium fluida dengan massa jenis  $1,225 kg/m^3$  dan viskositas  $0.000017894 kg/(m.s)$ ,

3. Jenis aliran yang terjadi di dalam merupakan aliran turbulen dan mengikuti model K-Epsilon RNG, karena dapat mensimulasikan putaran aliran fluida dengan baik (Karthik & Durst, 2011),
4. Memiliki nilai *swirl number* 0.07, karena diasumsikan aliran dalam keadaan *mild flow*, [2] dan
5. Aliran udara pada *inlet* bersifat pengembangan penuh

Simulasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah simulasi aliran dingin (*cold flow*), dengan kecepatan, energi kinetik turbulen, dan intensitas turbulensi sebagai parameter yang dianalisis. Menurut skematik rangkaian alat uji, aliran udara masuk ke dalam siklon *burner* setelah dihembuskan dari *blower*, kemudian melalui *venture meter*, *junction*, dan pipa fleksibel. Dalam perjalanan aliran udara tersebut, *losses* (kehilangan) kecepatan diabaikan sehingga diasumsikan dalam simulasi, kecepatan aliran masuk siklon *burner* adalah sama dengan kecepatan aliran saat dihembuskan dari *blower*. Oleh karena itu, hanya objek siklon *burner* yang akan dimodelkan dalam simulasi ini.

### 3.2.1. Desain Siklon Burner

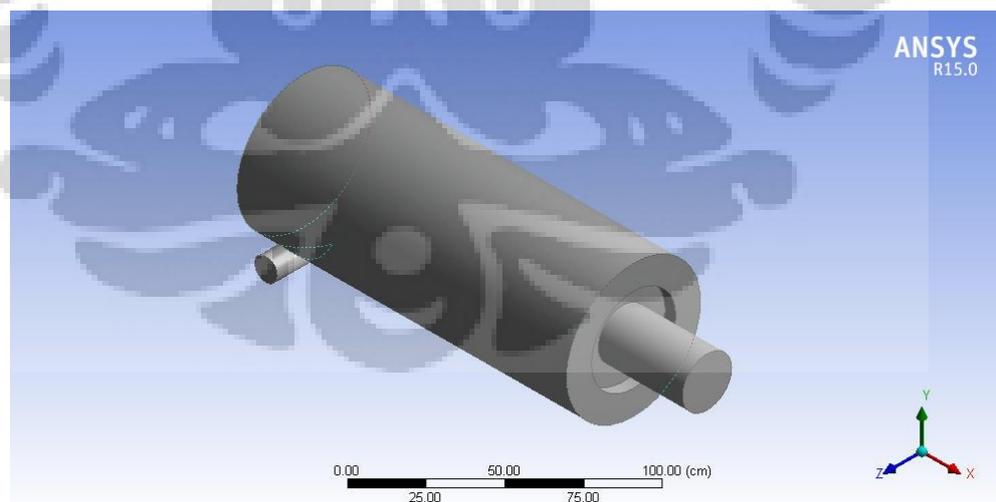
Pemodelan *Siklon burner* mengikuti siklon *burner* yang ada di P3TKEBTKE Lemigas, Cipulir, Jakarta Selatan. *Burner* pada model tersebut berfungsi sebagai domain utama dalam *combustion chamber*. Leher *outlet* interior memiliki panjang 42 cm dari mulut *outlet* hingga pangkal interiornya dengan diameter 22 cm.



Gambar 3.8. Siklon Burner Tampak Samping Berikut Titik-Titik Pengukuran

(Sumber: Y. Gunawan, P3TKEBTKE, 2014)

Agar dapat dilakukan simulasi CFD pada *burner* tersebut, maka ruang bakar pada sketsa di atas ditukar dengan model *solid* ketika dilakukan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS DesignModeller v15.0 sehingga pada nantinya yang akan ditampilkan adalah bentuk interior dari *burner* 3D tersebut seperti yang terdapat pada gambar berikut:



Gambar 3.9.. Interior Siklon Burner sebagai Model Padat

### 3.2.2. Meshing dan Boundary

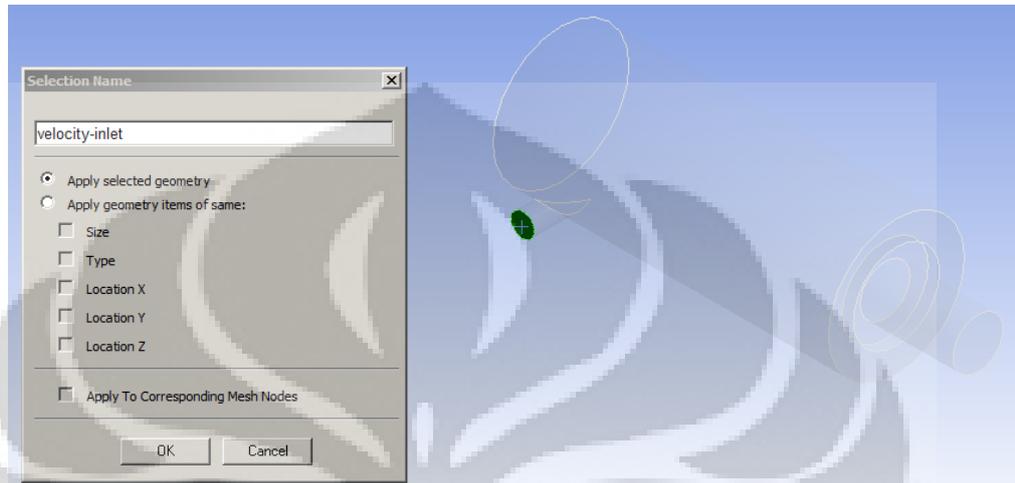
*Meshing* dalam pemodelan bertujuan untuk memberikan *node* dan elemen *mesh* pada model yang hendak disimulasikan yang nantinya diharapkan dapat memberikan gambaran fenomena simulasi secara akurat. Keakuratan dari penggambaran fenomena fluida oleh simulasi CFD tergantung dari jumlah *node* dan *mesh* yang dihasilkan dalam proses *meshing*. *Meshing* sendiri menjelaskan konsep tempat gaya bekerja di mana persamaan energi dalam suatu aliran fluida di dalam ruangan berada dan dikalkulasikan menurut letak *mesh* tersebut (Tu, Yeoh, & Liu, 2008).

*Boundary zoning* adalah proses penentuan kondisi batas pada bagian permukaan suatu model agar *face* atau *zone* yang dipilih dapat disimulasikan seperti fungsinya pada alat uji yang nyata. Hal ini termasuk pula penentuan *inlet*, *outlet*, dan dinding model (Tu, Yeoh, & Liu, 2008). Proses *Mesh* dan *Boundary* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS® Meshing™.

Setelah model 3D siklon *burner* selesai dibentuk, selanjutnya proses pemodelan dilakukan dengan melakukan pemberian zona batas pada model tersebut. Menurut gambar skematik rangkaian alat uji siklon *burner*, pipa fleksibel menghubungkan antara siklon *burner* dengan rangkaian saluran yang telah tersambung dengan *blower*. Diasumsikan pula bahwa tidak ada *loss* atau kehilangan serta fluktuasi kecepatan aliran udara sepanjang saluran dari *blower* menuju *burner* sehingga kecepatan aliran sepanjang saluran dianggap konstan. Agar program ANSYS dapat membaca *face* lingkaran tersebut sebagai *inlet*, maka perlu dilakukan tahapan berikut, yaitu:

1. Memilih *face* yang hendak dijadikan *inlet*,
2. Memilih *selection name*,
3. Menginput *velocity-inlet*, semua pengaturan lainnya dibiarkan, lalu *OK*.

Dengan begitu, perangkat lunak akan membaca lingkaran tersebut sebagai *inlet* dengan kecepatan sebagai parameter utama karena dalam pengujian alat, variabel pertama yang didapat ialah kecepatan dan didenotasikan dalam *m/s*. [2]



Gambar 3.10. Penentuan Inlet Kecepatan pada Siklon Burner

Langkah untuk menentukan *outlet* pada *burner* mengikuti cara yang sama seperti langkah penentuan *inlet*. Perbedaan utama dengan cara sebelumnya adalah pada pemilihan *face* sebagai outlet, yaitu pada *face* lingkaran bagian ujung *burner* dan penamaannya

Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (2.958e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (2.958e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (5.916e-002 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20 )
Minimum Edge Length	0.319190 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	Program Controlled
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0.272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

Gambar 3.11. Menu Mesh pada Program ANSYS® Meshing™

Selanjutnya proses pemodelan dilanjutkan pada *meshing*. Semua pengaturan parameter pada menu *mesh* dibiarkan seperti dalam keadaan awal, kecuali beberapa parameter yang memang lebih krusial seperti *sizing* yang mana pengaturan kualitatif, yaitu *relevance center*, *smoothing*, dan *span angle center* diatur pada kondisi *high* atau *fine*, serta pengaturan *inflation* yang berfungsi untuk mengatur penambahan jumlah *mesh* terhadap model, diatur dengan parameter *use automatic inflation: Program Controlled*, untuk menentukan jumlah *meshing* model yang terbaik sesuai parameter yang dipilih pada menu *sizing*.

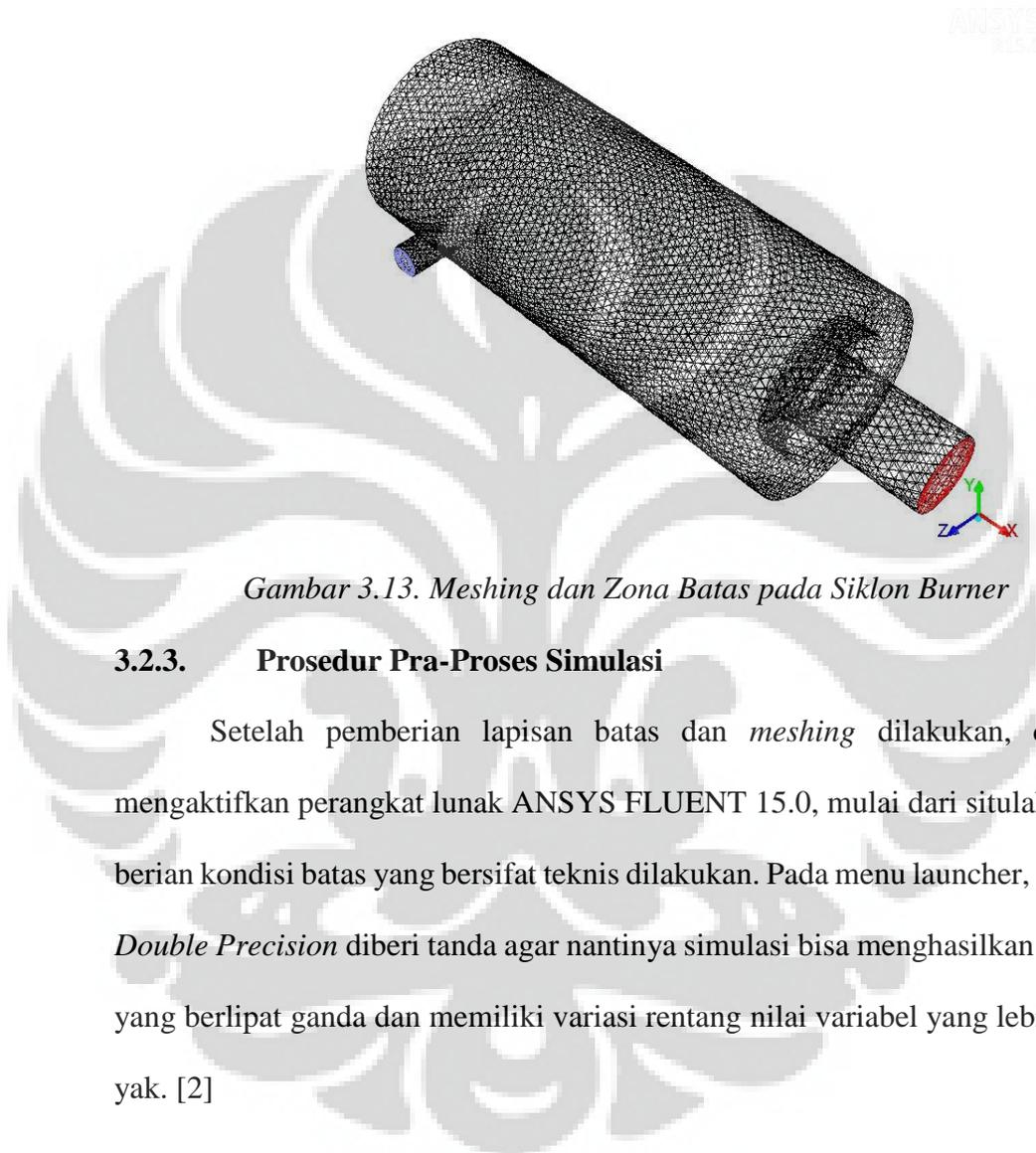
[2]

Jumlah *Mesh* dan simpul yang terbentuk dalam proses *meshing* adalah seperti pada gambar berikut:

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	39826
<input type="checkbox"/> Elements	117102
Mesh Metric	None

Gambar 3.12. Jumlah Simpul dan Elemen Mesh yang Terbentuk.

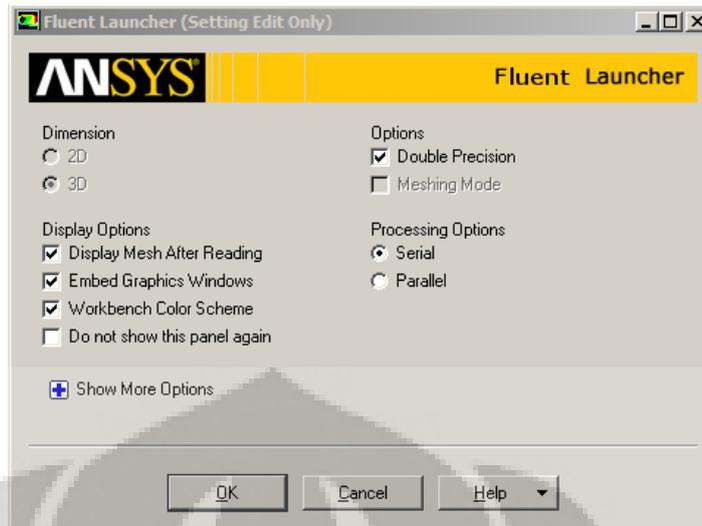
Jenis *mesh* yang digunakan untuk penyusunan *domain* ruang bakar siklon adalah *mesh* berbentuk tetrahedral karena memiliki fleksibilitas dan memiliki nilai paling *optimum*.



Gambar 3.13. Meshing dan Zona Batas pada Siklon Burner

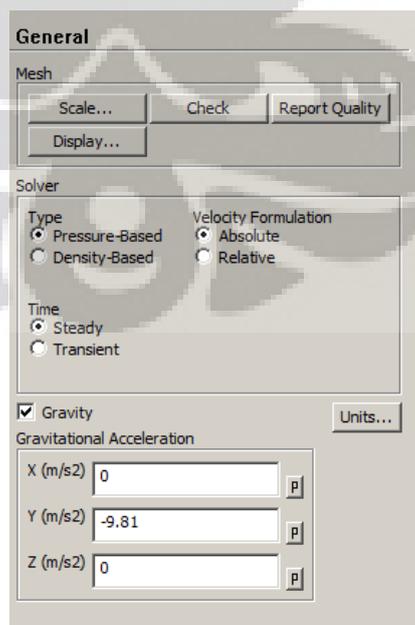
### 3.2.3. Prosedur Pra-Proses Simulasi

Setelah pemberian lapisan batas dan *meshing* dilakukan, dengan mengaktifkan perangkat lunak ANSYS FLUENT 15.0, mulai dari situlah pemberian kondisi batas yang bersifat teknis dilakukan. Pada menu launcher, pilihan *Double Precision* diberi tanda agar nantinya simulasi bisa menghasilkan presisi yang berlipat ganda dan memiliki variasi rentang nilai variabel yang lebih banyak. [2]



Gambar 3.14.. Menu Launcher FLUENT

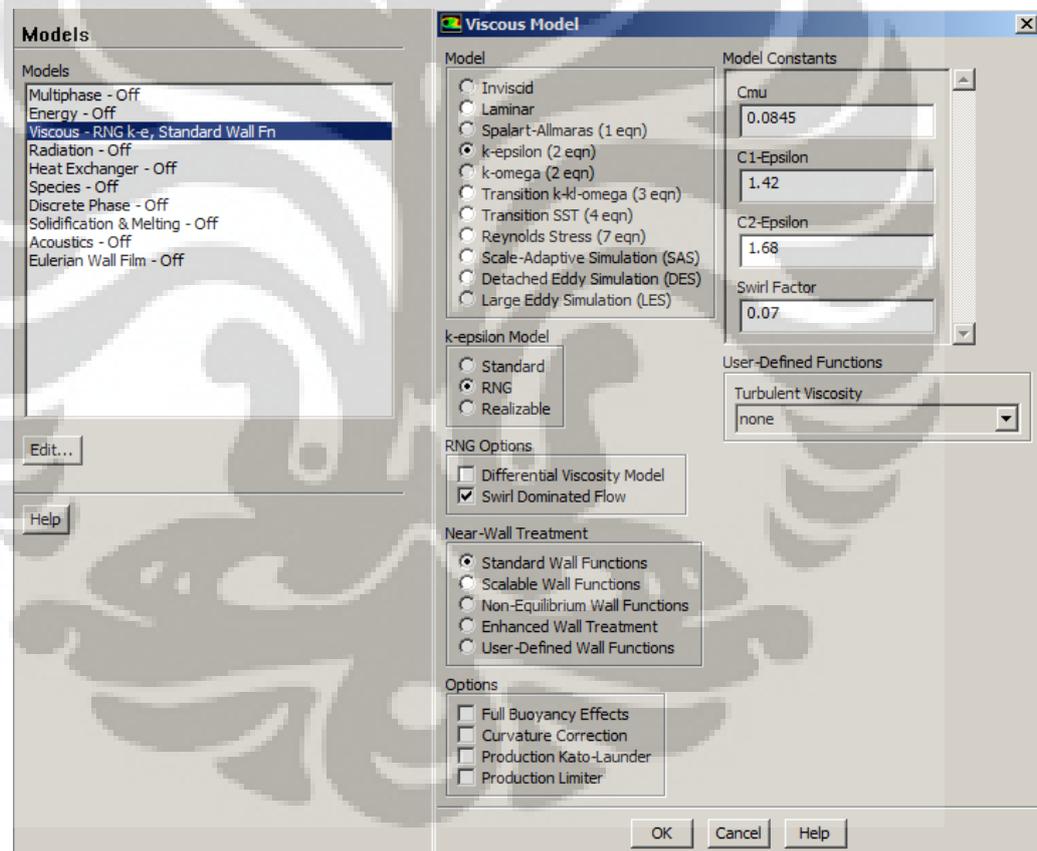
Setelah mengimpor model yang telah di-mesh sebelumnya, maka berbagai pilihan yang hendak digunakan untuk simulasi akan tersedia. Pada menu *general*, semua pengaturan dibiarkan pada kondisi awal, kecuali disimulasikan bahwa ada pengaruh gaya gravitasi pada model tersebut, untuk mensejajarkan koordinasi alat uji dengan model simulasi, maka pemberian nilai gravitasi bumi diberikan sebagai  $-9.81 \text{ m/s}^2$  karena arah Y positif mengarah ke bagian atas *burner*.



Gambar 3.15. Pengaturan Menu General/Umum.

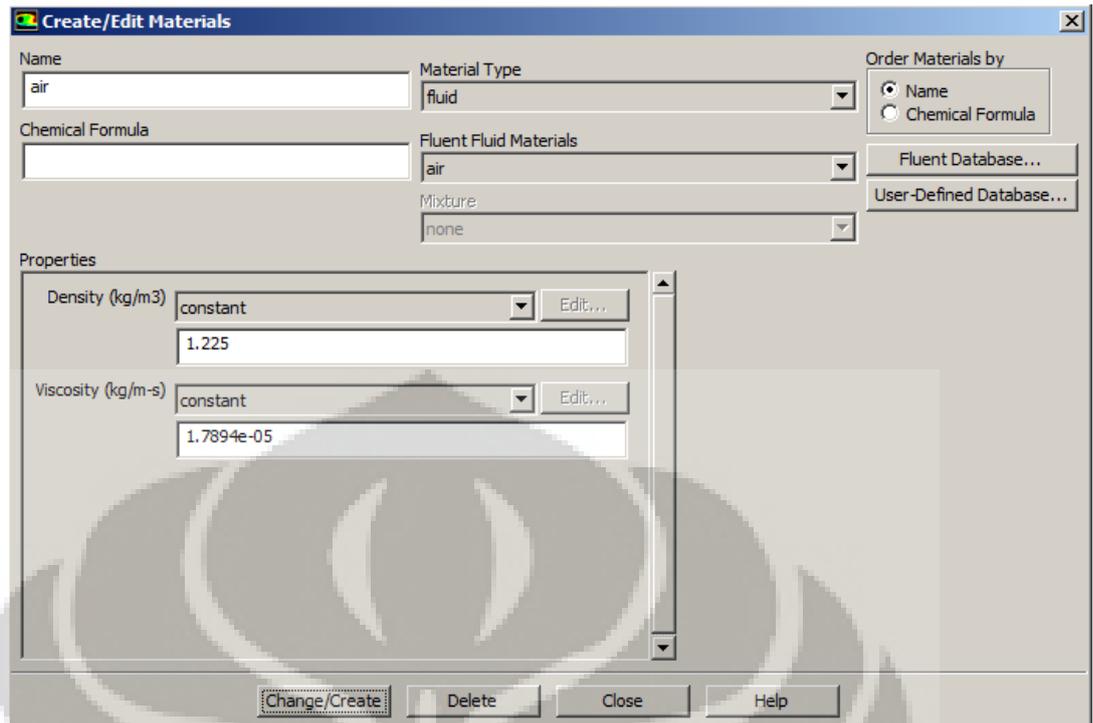
Kemudian dilakukan pengaturan model simulasi CFD. Karena yang hendak disimulasikan saat ini adalah fenomena turbulensi pada aliran udara *coldflow* atau aliran dingin, maka cukup model viskos aliran saja yang diubah pengaturannya.

Dari pilihan menu *viscous model* pada gambar berikut, model k-epsilon RNG - 2 persamaan dipilih dan memberi tanda pada *swirl dominated flow*. Nilai bilangan *swirl factor* dibiarkan pada angka 0.07 untuk mensimulasikan aliran *mild flow* yang tidak menghasilkan putaran aliran secara nyata.



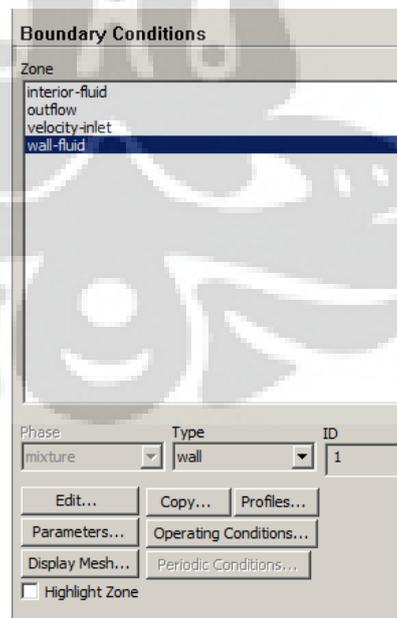
Gambar 3.16. Penentuan Model Viskos Aliran dalam Siklon Burner.

Pengaturan awal dari perangkat lunak untuk material fluida ada udara, sesuai dengan kebutuhan simulasi aliran dalam siklon *burner*, sehingga tidak perlu ada perubahan pengaturan pada menu tersebut.

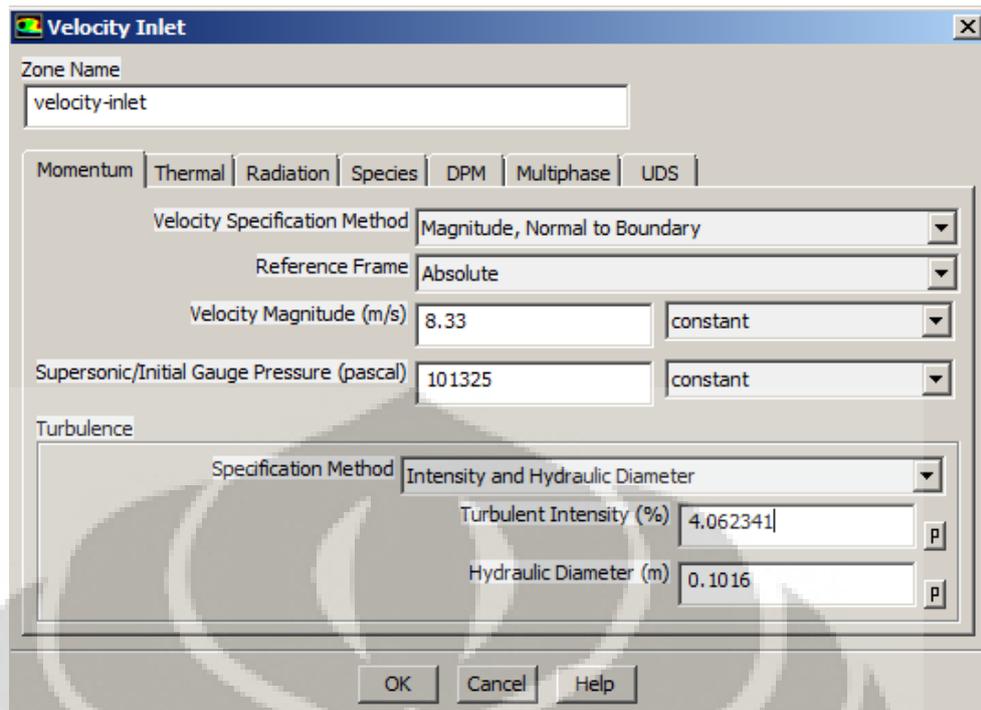


Gambar 3.17. Material Fluida yang Digunakan untuk Simulasi.

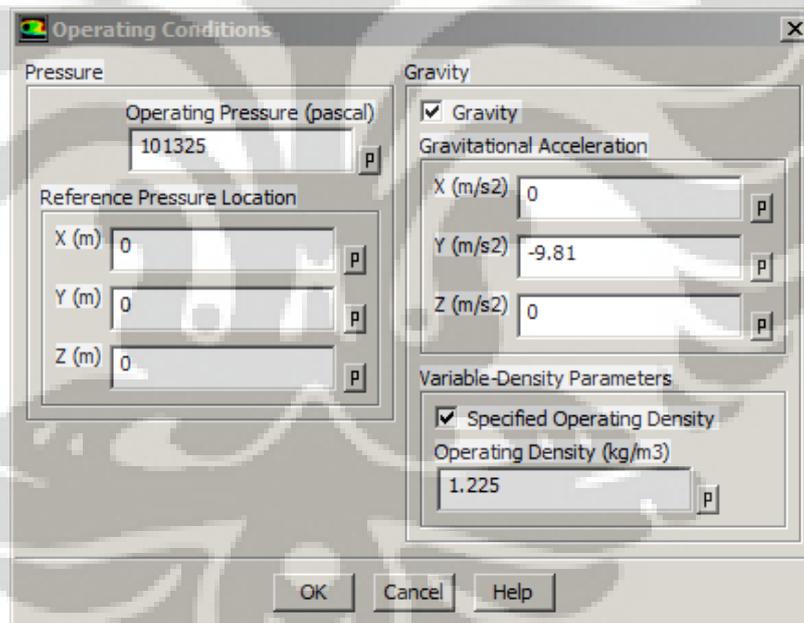
Kemudian memilih pengaturan kondisi batas, yang mana untuk simulasi *coldflow*, cukup dilakukan pengaturan pada *inlet (velocity-inlet)* dan kondisi operasinya.



Gambar 3.18. Pilihan Menu Boundary Conditions/Kondisi Batas.



Gambar 3.19. Menu Pengaturan Velocity Inlet.



Gambar 3.20. Menu Pengaturan Kondisi Operasi.

Pada jendela menu *velocity inlet*, aliran dalam *inlet burner* diasumsikan memiliki nilai tekanan 1 atm (101325 Pa) dengan menggunakan variabel kecepatan yang diperoleh dengan mengukur perbedaan ketinggian permukaan air pada selang venturi meter. Intensitas turbulen diasumsikan memiliki nilai yang

diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.1 dan input diameter hidrolis *inlet* dimasukkan sesuai diameter *inlet* pada alat uji.

Lalu pada menu *operating conditions*, fenomena turbulensi dalam ruang bakar diasumsikan terjadi pada keadaan tekanan 1 atm (101325 atm) dengan massa jenis  $1,225 \text{ kg/m}^3$  serta dipengaruhi oleh gaya gravitasi yang nilai inputnya telah ditentukan sebelumnya pada menu *general*.

Untuk keperluan simulasi CFD pada perangkat lunak FLUENT, perlu pula dimasukkan nilai sebagai referensi untuk simulasi, di mana dalam hal ini digunakan nilai-nilai yang sebelumnya telah dimasukkan pada kondisi batas *velocity-inlet*, seperti yang dituliskan pada gambar 3.14.

Reference Values	
Area (m <sup>2</sup> )	1
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1.225
Enthalpy (j/kg)	0
Length (m)	1
Pressure (pascal)	101325
Temperature (k)	288.16
Velocity (m/s)	8.325807
Viscosity (kg/m-s)	1.7894e-05
Ratio of Specific Heats	1.4

Gambar 3.21. Menu Pengaturan Reference Value.

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS

### 4.1. Perolehan Laju Kecepatan

Data Venturimeter:

$$A_1 = 0,008 \text{ m}^2 \text{ (Dari diameter pipa fleksibel: 4 inci)}$$

$$A_2 = 0,002 \text{ m}^2 \text{ (Dari diameter leher venturimeter: 2inci)}$$

$$\rho' = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (medium yang digunakan adalah air)}$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \text{ (medium yang digunakan adalah udara)}$$

$$h = 0.082 \text{ m}$$

Dari pengujian *blower* dengan venturimeter, diperoleh data perbedaan ketinggian fluida cair dalam mano meter adalah 0.082 m, 0.067 m, 0.053 m, 0.042 m, 0.031 m, dan 0.023 m. Untuk ukuran 0.082 m, dengan persamaan 3.1, maka nilai kecepatan yang diperoleh adalah:

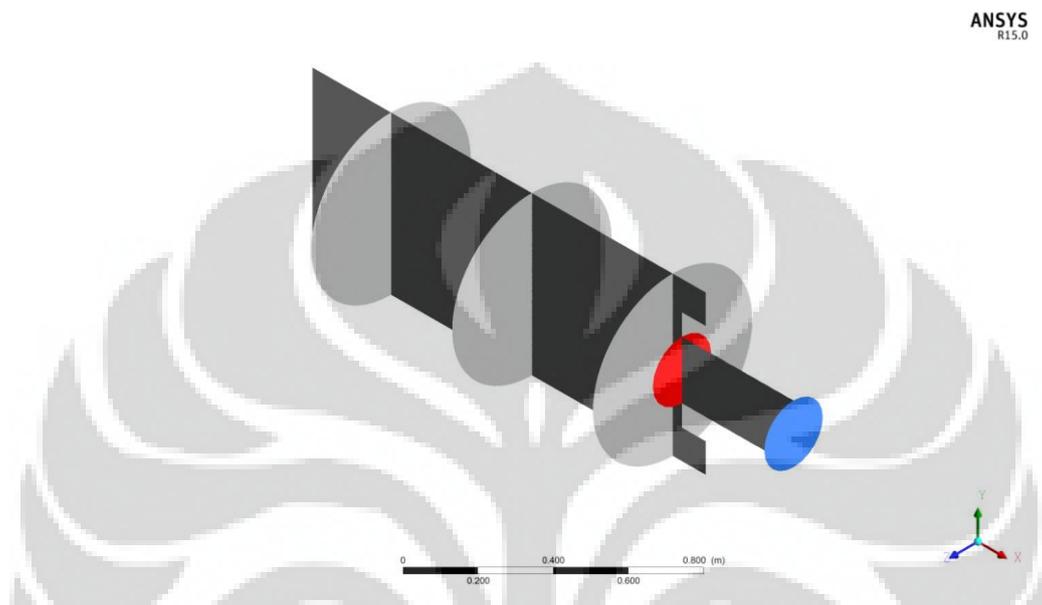
$$\begin{aligned} v &= A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} = v \\ &= 0.002 \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2(1000 \text{ kg/m}^3 - 1.225 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.082 \text{ m})}{1.225 \text{ kg/m}^3 ((0.008 \text{ m}^2)^2 - (0.002 \text{ m}^2)^2)}} \\ &\approx 9.35 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka nilai kecepatan masing-masing yang diperoleh untuk  $h$  sama dengan 0.067 m, 0.053 m, 0.042 m, 0.031 m, dan 0.023 m adalah 8.45 m/s, 7.53 m/s, 6.69 m/s, 5.75 m/s, dan 4.95 m/s.

### 4.2. Penentuan Nilai Variabel Kondisi Batas

Data hasil simulasi dapat diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent setelah penentuan variabel dan kondisi batas dilakukan. Data yang akan

dianalisis adalah kecepatan, energi kinetik turbulen, dan intensitas turbulensi. Parameter-parameter tadi akan dianalisis lebih mendalam pada *plane* setelah fluida keluar dari saluran *inlet* ke arah X positif karena arah tersebut pula percampuran bahan bakar dengan udara dan fluida yang keluar melalui *outlet* terjadi.



Gambar 4.1. Plane yang Akan Dilihat Hasilnya. Urutan ke arah X: Plane 1, Plane 2, Plane 3, Plane 4 (Merah), Outflow (Biru).

Pemilihan letak *plane* tersebut dilakukan untuk menyesuaikan dengan titik letak alat ukur termokopel pada uji dengan mengikuti arah X. Dari situ juga fenomena dan perubahan karakteristik turbulensi sepanjang ruang bakar dari plane 1 hingga *outlet* akan diamati.

Sebelum dilakukan proses iterasi simulasi CFD, semua parameter yang diperlukan dimasukkan ke dalam variabel input kondisi batas dan metode inisialisasi, yaitu bilangan Reynolds, Intensitas Turbulensi, Energi Kinetik Turbulen, dan Laju Disipasi Turbulensi. Semua parameter dihitung dalam kondisi awal ini daerah *inlet*. Berikut ini merupakan kalkulasi nilai parameter-parameter yang diperlukan dalam simulasi tersebut dengan mengambil nilai kecepatan asumsi 9.35 m/s.

#### 4.2.1. Bilangan Reynolds setiap Variabel Kecepatan

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab II, bilangan Reynolds bisa didapat dengan menggunakan persamaan 2.. Untuk perhitungan bilangan Reynolds pada kondisi kecepatan 9.35 m/s dengan nilai-nilai variabel mengacu pada tabel 3.1, tahap perolehan nilai ada pada perhitungan berikut:

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$= \frac{(1.225 \text{ kg/m}^3)(9.35 \text{ m/s})(0.1016 \text{ m})}{0.000017894 \text{ Pa}\cdot\text{s}} \approx 65033.03$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka bisa dikatakan bahwa aliran udara pada kecepatan 9.35 m/s bersifat turbulen karena memiliki nilai bilangan Reynolds lebih dari 4000. Perlu dicatat pula bahwa nilai diameter hidrolis pipa dengan bentuk penampang lingkaran memiliki nilai yang sama dengan diameter pipa tersebut sehingga variabel  $D$  dapat dimanfaatkan sebagai variabel  $D_H$  dalam simulasi dan pada persamaan 2.1, variabel  $D_H$  dapat disubstitusikan dengan  $D$ .

#### 4.2.2. Intensitas Turbulensi Awal

Intensitas turbulensi merupakan hal yang sangat krusial dalam simulasi CFD karena dengan menentukan nilai awal tersebut, maka intensitas turbulensi di dalam ruang siklon *burner* dapat diperoleh secara akurat. Dalam simulasi ini, persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai intensitas turbulensi adalah persamaan 2.3, karena kecepatan masuk diasumsikan mengalami pengembangan penuh (*fully developed*). Dengan mengikuti persamaan 2.4 untuk kondisi  $Re$  pada kecepatan 9.35 m/s, maka nilai intensitas turbulensi diperoleh dengan perhitungan berikut:

$$I = 0.16 Re^{-\frac{1}{8}} = 0.16(64644.94)^{-\frac{1}{8}}$$

$$\approx 0.0400385402983 \approx 4.004\%$$

Dari perhitungan di atas, didapat bahwa intensitas turbulensi pada *inlet* adalah sebesar 4.004%.

#### 4.2.3. Energi Kinetik Turbulensi Awal

Dengan mengetahui nilai intensitas turbulensi, maka nilai variabel energi kinetik turbulensi sesaat pada daerah *inlet* dapat diperoleh dengan memasukkan nilai masing-masing variabel ke dalam persamaan 2.5. Tahap perhitungan untuk peroleh variabel yang bersangkutan adalah:

$$k = \frac{3}{2}(vI)^2 = \frac{3}{2}((9.35)(0.04004))^2 \\ \approx 0.21 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Dari perhitungan di atas, pada saat kecepatan awal masuk *inlet* sama dengan 9.35 m/s, aliran fluida udara memiliki energi kinetik turbulensi awal sebesar  $0.21 \text{ m}^2/\text{s}^2$ .

#### 4.2.4. Laju Disipasi Turbulensi Awal

Nilai laju disipasi awal dapat diperoleh dengan memanfaatkan persamaan 2.x setelah nilai  $k$  dan  $l$  diperoleh terlebih dahulu. Langkah perhitungan untuk memperoleh nilai laju disipasi turbulensi pada kondisi awal untuk kecepatan sebesar 9.35 m/s adalah sebagai berikut:

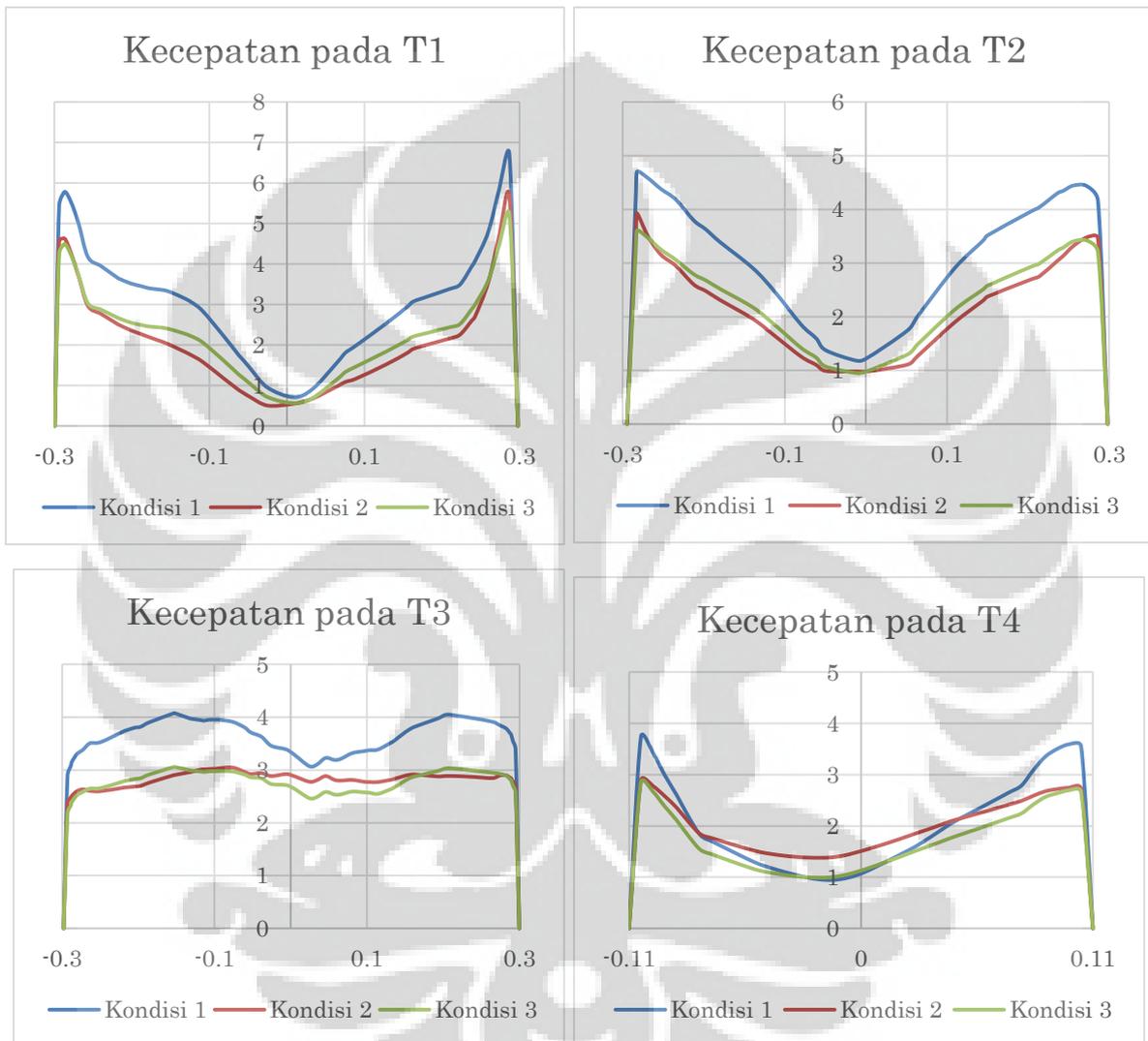
$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{0.07D} = \varepsilon = \frac{0.0845^{3/4} 0.21^{3/2}}{0.07(0.1016)} \\ \approx 2.12 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

Dengan cara yang sama dari bagian 4.1.1 hingga 4.1.4 dengan menggunakan variabel kecepatan masuk masing-masing 8.45 m/s dan 7.52 m/s nilai parameter turbulensi yang diperoleh dihimpun dan dilihat pada tabel lampiran 4-I.

### 4.3. Hasil Simulasi dan Fenomena Turbulensi

Data pada tabel lampiran 4-I tadi digunakan pada simulasi numerik CFD sebagai *input* dari kondisi batas awal pada *inlet* siklon *burner*.

#### 4.3.1. Analisis Kecepatan

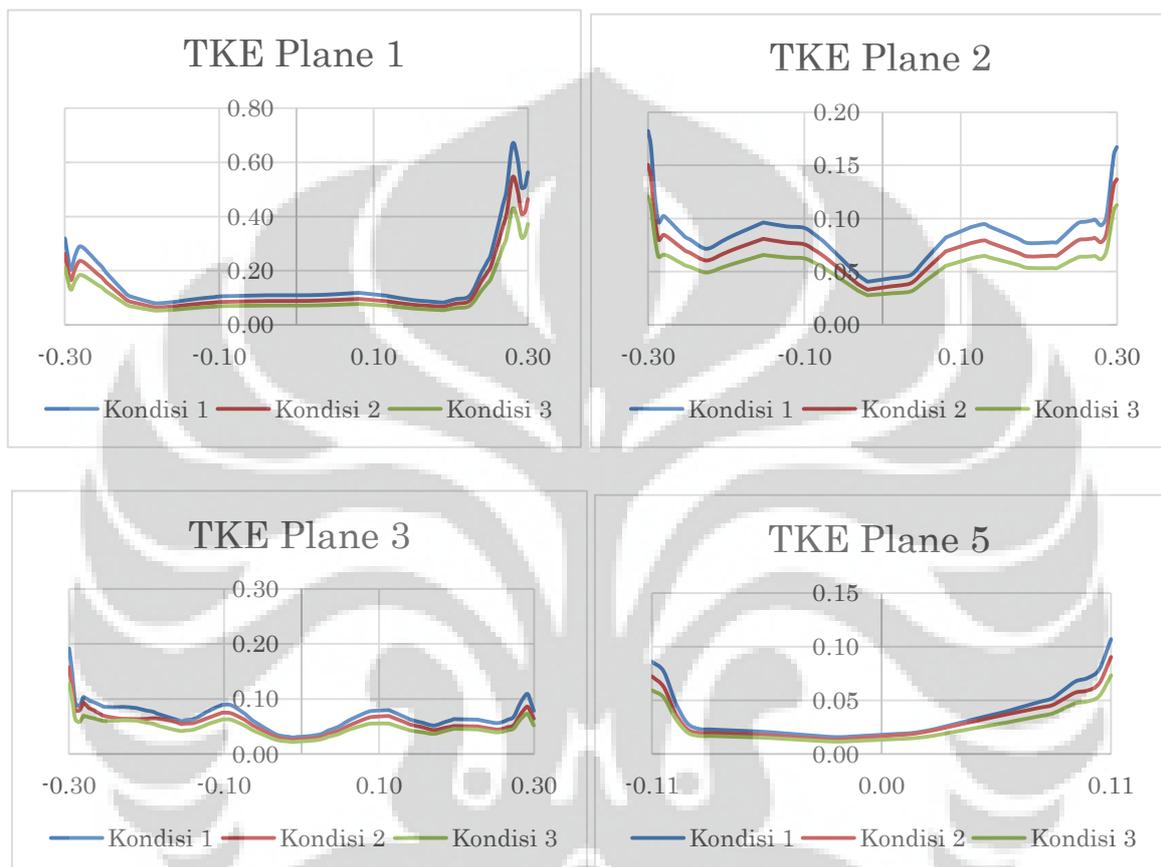


Gambar 4.2. Grafik Kecepatan setiap Plane

Grafik pada gambar 4.2. menunjukkan nilai kecepatan setiap *plane* pada posisi sumbu Y dari posisi -0.30 m hingga 0.30 m. Nilai kecepatan tertinggi terdapat pada *plane 1* bagian atas, yaitu beberapa saat setelah aliran udara keluar dari saluran *inlet*. Kecepatan baru mulai menunjukkan homogenitasnya dan pengurangan kecepatannya pada *plane 3* yang berjarak 122.42 cm dari pusat

*inlet*. Baru pada saat aliran fluida memasuki leher *outlet* kecepatan antar titik dalam plane yang sama memiliki nilai kecepatan yang saling berdekatan antara satu sama lain.

#### 4.3.2. Analisis Energi Kinetik Turbulen



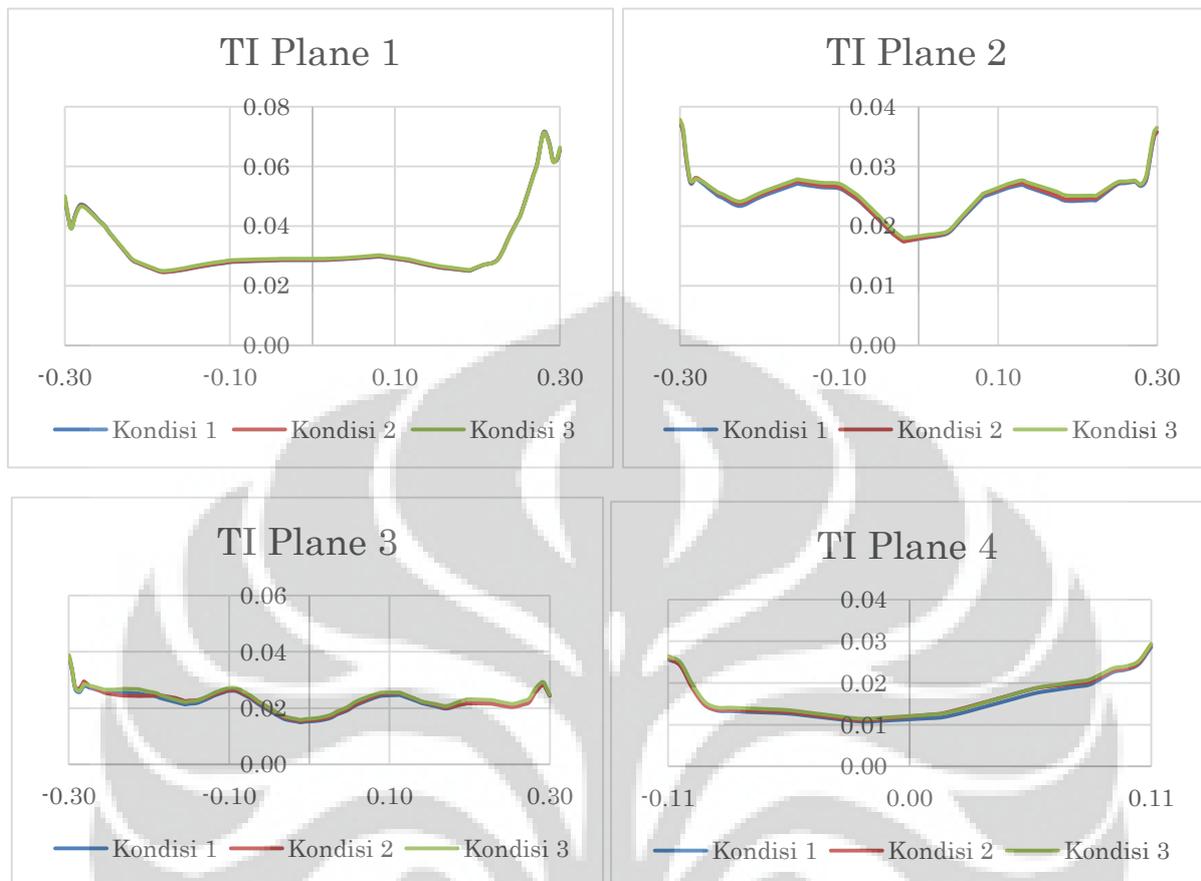
Gambar 4.3. Grafik Energi Kinetik Turbulen setiap Plane

Grafik energi kinetik turbulen pada *plane* 1 memiliki kecenderungan untuk membentuk lembah, yang artinya fenomena turbulensi yang tinggi terjadi ada pada bagian pinggir beberapa saat setelah aliran keluar dari saluran *inlet*, sehingga jika bahan bakar dialirkan bersama udara ke dalam ruang bakar, maka begitu setelah memasuki area *inlet*, maka proses tumbukan antara udara dengan partikel bahan bakar akan langsung terjadi sehingga memicu pembakaran dalam kondisi suhu tinggi.

TKE pada *plane 2* mulai menunjukkan homogenitas yang mana jika dikaitkan dengan suhu pembakaran maka percampuran bahan bakar dengan udara dan persebaran suhu pada *plane* tersebut akan lebih merata karena terjadi kenaikan nilai TKE pada bagian tengah *burner* walau terjadi penurunan suhu seiring dengan menurunnya nilai TKE di bagian pinggir secara drastis. Pada *plane 3*, bentuk grafik TKE cenderung bergelombang menunjukkan ketidakhomogenan energi pada titik tersebut karena titik tersebut mulai mendekati *outlet* dan *deadzone* (ruang kosong pada jarak setelah *plane 4* tanpa *outlet*) pada ruang bakar sehingga ada kemungkinan suhu pembakaran yang diperoleh akan bervariasi.

Karena titik *outlet* merupakan batas antara ruang dengan ruang yang dimensinya lebih besar atau alam bebas, nilai TKE akan mengalami penurunan dan memiliki nilai paling kecil di antara titik lainnya sehingga ada kemungkinan bahwa data suhu diperoleh akan memiliki nilai paling kecil.

### 4.3.3. Analisis Intensitas Turbulensi

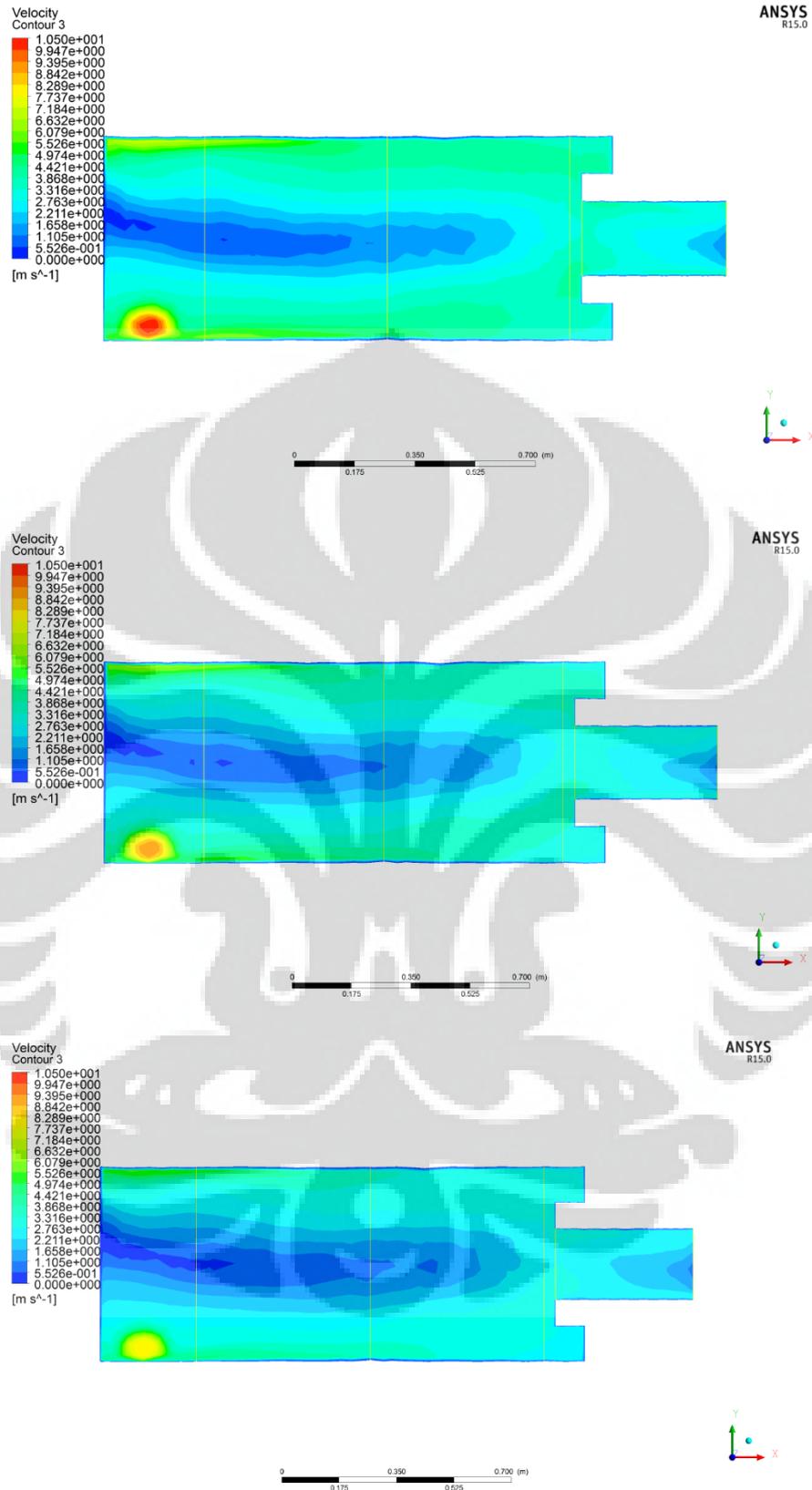


Gambar 4.4. Grafik Intensitas Turbulensi setiap Plane

Persamaan intensitas turbulensi menghasilkan bentuk grafik yang mirip dengan grafik TKE karena pada dasarnya parameter TI merupakan cara lain dalam melihat fenomena turbulensi aliran dalam bentuk persen (Hidayat, 2009).

### 4.3.4. Kontur Kecepatan

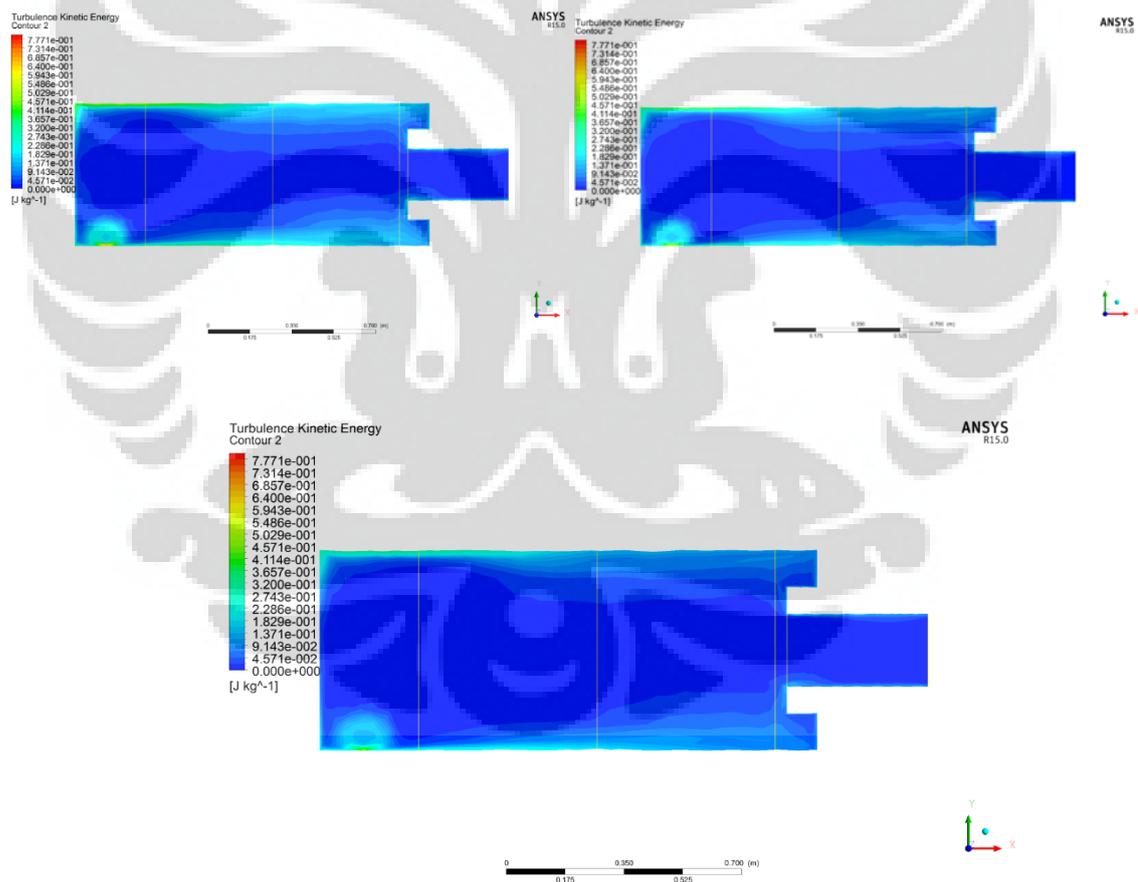
Visualisasi aliran dalam bentuk kontur dengan *plane* yang melintang sepanjang panjang *burner* dilakukan agar dapat lebih memahami besaran nilai pada setiap titik dalam *burner* bagian tengah (mengacu pada nilai  $Z=0$ ).



Gambar 4.5. Kontur Kecepatan setiap Kondisi Kecepatan

Dari hasil simulasi juga bisa dinyatakan bahwa aliran dengan kecepatan terbesar terjadi pada bagian pangkal ruang *burner* di bagian pinggirnya serta berlaku pula bahwa semakin besar kecepatan masuknya, maka semakin cepat pula kecepatan aliran udara dalam ruang bakar. Kemudian aliran mengalami penurunan kecepatan hingga pada saat aliran mulai mendekati titik pengukuran ke-3 yaitu kecepatan fluida pada bagian tengah ruang bakar meningkat lagi karena ada penyempitan luas penampang ruang sepanjang aliran fluida mengalir, sebelum akhirnya mengalami penurunan lagi aliran udara keluar dari ruang bakar.

#### 4.3.5. Kontur Energi Kinetik Turbulen



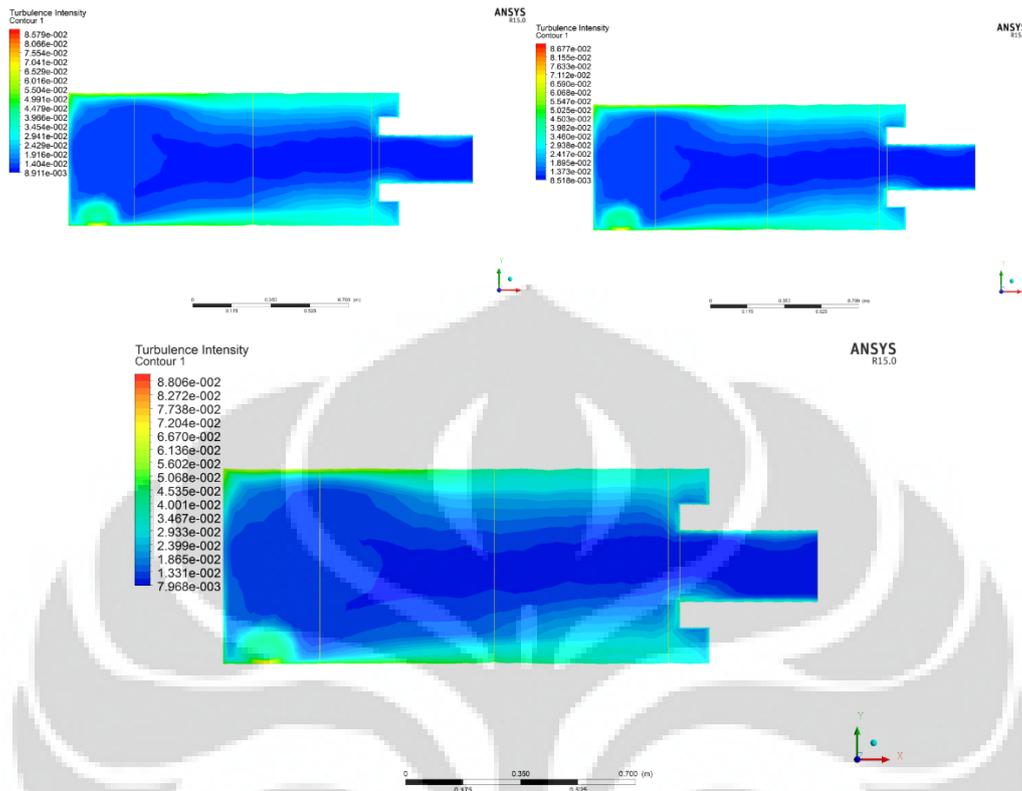
Gambar 4.6. Kontur Energi Kinetik Turbulen setiap Variabel Kecepatan Inlet

Berdasarkan kontur hasil simulasi pada gambar 4.7, aliran udara memiliki nilai energi kinetik tertinggi sesaat setelah keluar dari *inlet*. Setelahnya,

nilai energi kinetik turbulen langsung menurun dengan signifikan, kemudian menurun lagi secara perlahan pada saat mendekati *inlet*, yaitu pada daerah titik pengukuran ketiga, sebelum akhirnya menurun jauh lagi pada mulut *outlet*. Oleh karena itu, ada kemungkinan juga bahwa jika pengujian pembakaran dilakukan untuk memperoleh data temperatur dan *flowrate* bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar adalah konstan, maka suhu tertinggi akan diperoleh pada titik pengukuran pertama dan akan menurun mengikuti tren karakteristik energi kinetik dalam ruang bakar *burner* tersebut.

Dengan karakteristik nilai TKE yang lebih tinggi pada wilayah antara titik 2 dan titik 3 yang memiliki nilai pada posisi Y yang sejajar dengan dinding yang memiliki letak yang sejajar dengan *plane 4* daripada daerah tengahnya, pertumbukan antar partikel fluida akan lebih nyata terlihat pada daerah tersebut dan akan bertumbukan dengan dinding *plane 4*. Maka dari itu, sebagian partikel fluida akan ada yang terbawa masuk ke leher *outlet* dan ada juga yang akan terperangkap dalam ruang bakar.

### 4.3.6. Kontur Intensitas Turbulensi



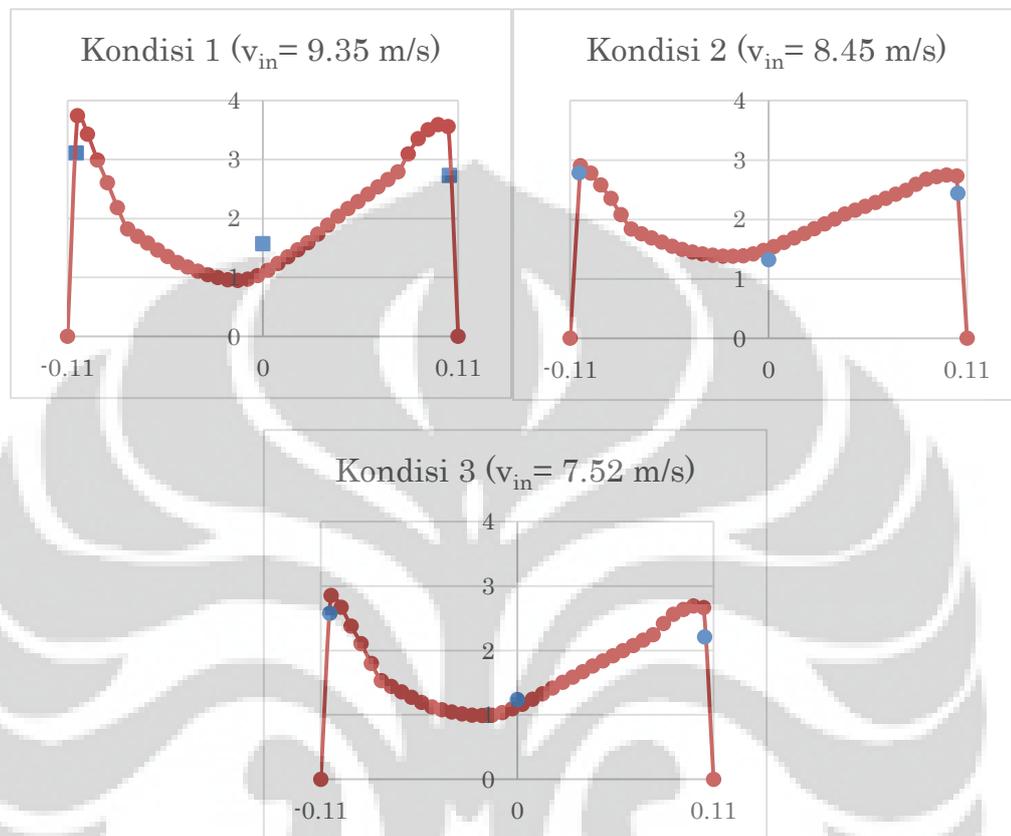
Gambar 4.7. Kontur Intensitas Turbulensi setiap Variabel Kecepatan Inlet

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, persamaan intensitas turbulensi merupakan turunan dari persamaan energi kinetik turbulen, sehingga kontur karakteristik intensitas turbulensi yang dihasilkan pun identik dengan kontur karakteristik energi kinetik turbulen. Kontur intensitas turbulensi juga dapat digunakan untuk mengamati penggambaran tumbukan yang terjadi dalam siklon *burner* sesuai besaran persentasenya (Hidayat, 2009).

### 4.4. Validasi Hasil Simulasi

Validasi atau pengesahan dari hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan beberapa hasil simulasi dengan eksperimen pada titik-titik pengukuran tertentu. Parameter validasi yang digunakan pada alat uji siklon *burner* adalah kecepatan *coldflow*

tanpa campuran bahan bakar, karena validasi tersebut yang paling memungkinkan untuk dilakukan saat eksperimen. Berikut ini merupakan perbandingan nilai kecepatan antara eksperimen dengan simulasi untuk titik pengukuran 4:



*Gambar 4.8. Perbandingan antara Grafik Kecepatan Hasil Simulasi (Merah) dengan Hasil Eksperimen (Biru).*

Dari data di atas, didapatkan selisih antara titik pengukuran kecepatan dengan eksperimen dan grafik hasil simulasi tidak terlalu jauh bahkan letaknya saling menempel menimpa satu sama lain. Sehingga untuk pengukuran titik T4 bisa dikatakan bahwa hasil eksperimen pada titik ke-4 sah dan dapat dipertanggungjawabkan.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

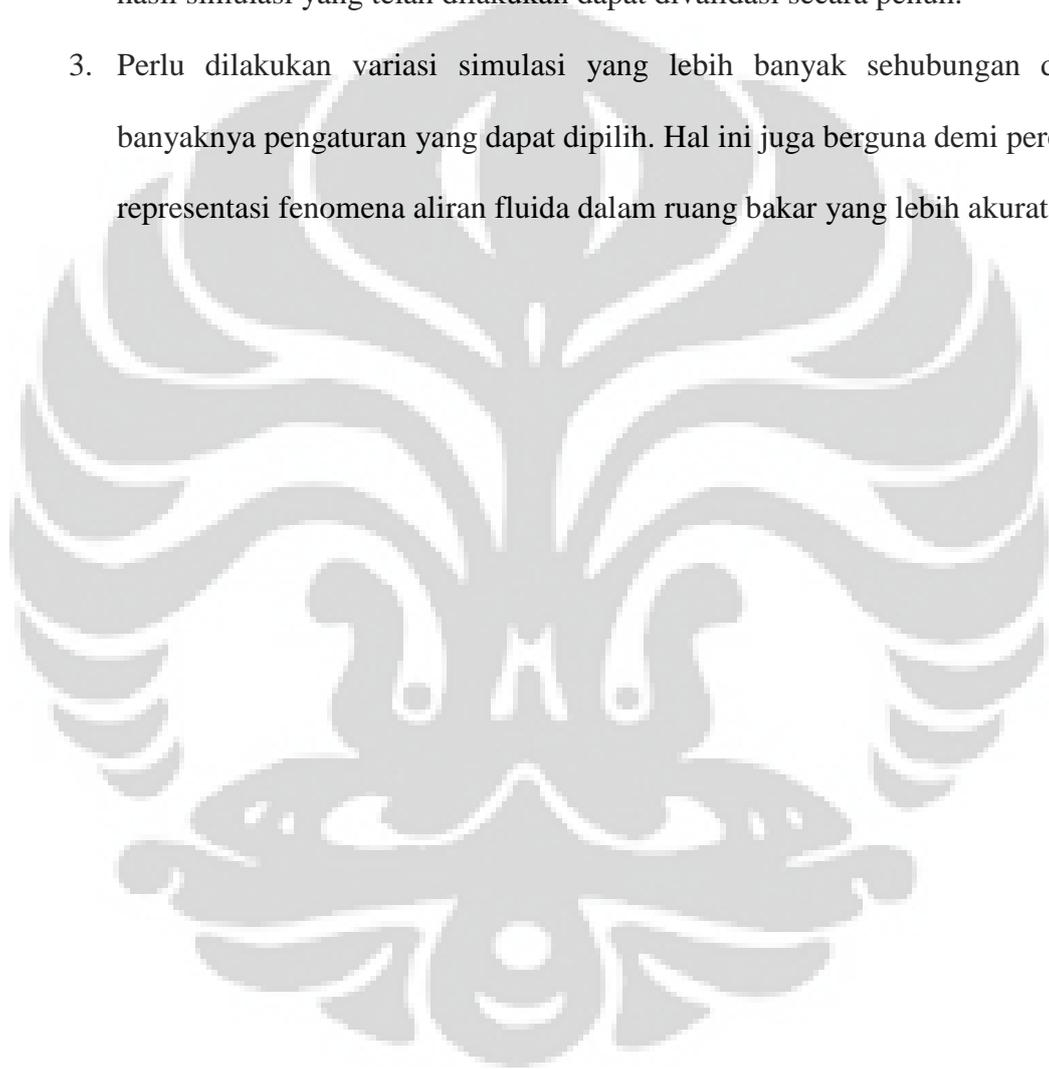
Kesimpulan yang dapat ditarik dari simulasi adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan aliran fluida tertinggi terdapat pada aliran daerah awal ruang bakar, kemudian semakin menuju *outlet* maka semakin kecil nilai kecepatan yang mengalir, dengan terjadi sedikit kenaikan kecepatan aliran pada *plane 4* (pangkal leher *outlet*)
2. Karakteristik fenomena turbulensi pada setiap *plane* bervariasi, dengan pernyataan bahwa nilai TKE keseluruhan memiliki nilai yang semakin kecil seiring dengan jarak yang ditempuh dari *inlet*.
3. Dengan nilai TKE atau TI yang tinggi pada daerah awal (tidak jauh dari saluran *inlet*), maka proses pertumbukan partikel fluida terbesar dalam aliran terjadi pada saat masuk ke dalam ruang bakar itu juga.
4. Persebaran nilai TKE yang merata terdapat pada daerah antara titik pengukuran 2 dan 3, sehingga terjadi pertumbukan antar partikel yang lebih merata pula, walau proses pertumbuhannya mengecil akibat berkurangnya nilai TKE secara keseluruhan.
5. Adanya ruang *deadzone* dalam ruang bakar yang terletak pada posisi X setelah *plane 4* akan menyebabkan sebagian partikel udara mengalir, bertumbukan, dan terperangkap dalam ruang tersebut karena tidak ada *outlet* yang dapat menghantarkannya keluar dari ruang bakar.
6. Fenomena pencampuran tidak begitu terlihat signifikan karena bahan bakar dan udara telah tercampur sebelum masuk *inlet* ruang bakar.

## 5.2.Saran

Saran yang dapat diusulkan untuk pengembangan ke depan adalah:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dan simulasi pembakaran pada siklon *burner* untuk memvalidasi simulasi *coldflow* yang telah dilakukan.
2. Masih perlu dilakukan validasi kecepatan pada titik T1, T2, dan T3 agar dapat hasil simulasi yang telah dilakukan dapat divalidasi secara penuh.
3. Perlu dilakukan variasi simulasi yang lebih banyak sehubungan dengan banyaknya pengaturan yang dapat dipilih. Hal ini juga berguna demi perolehan representasi fenomena aliran fluida dalam ruang bakar yang lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

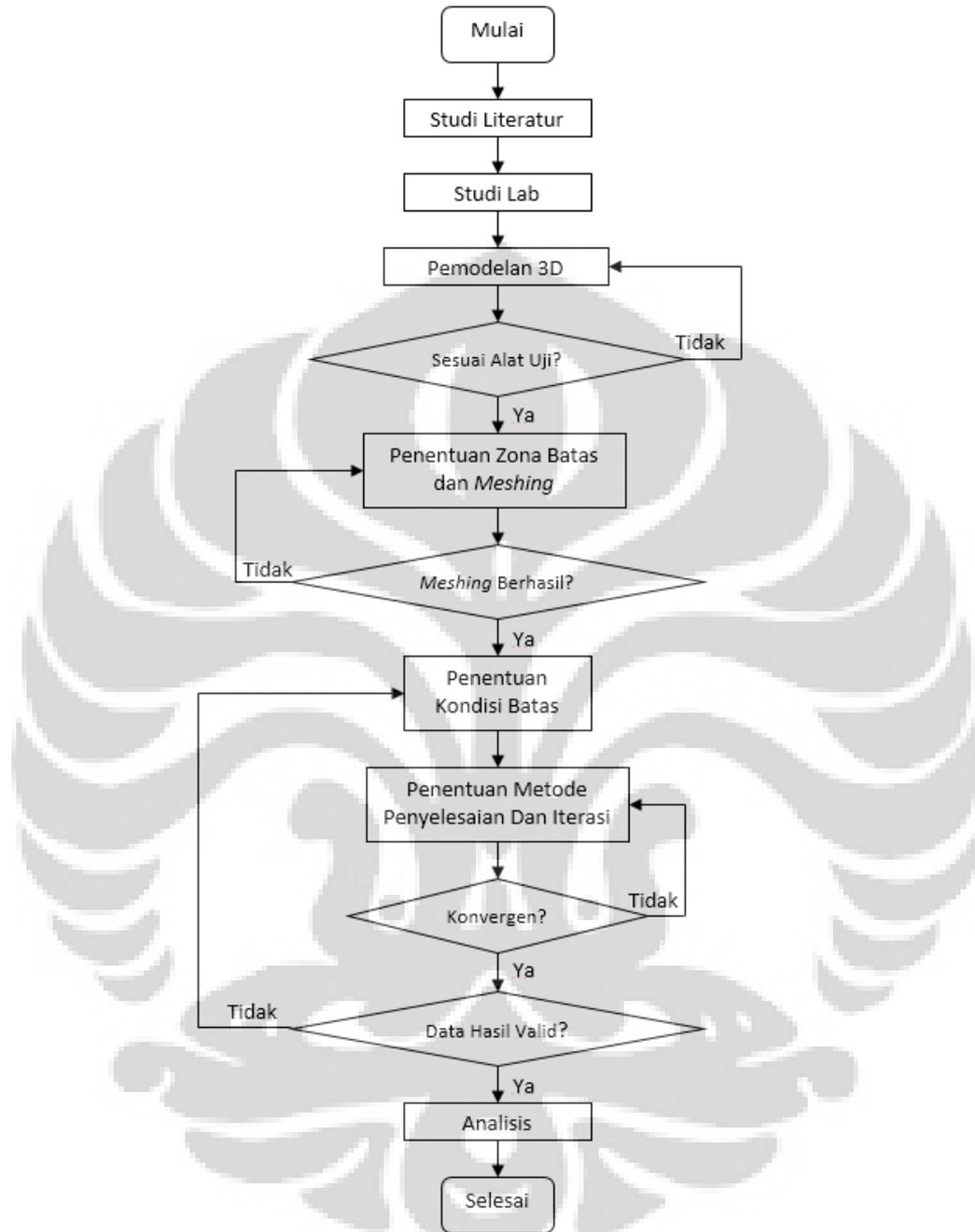
- [1] Abderrahim, Z., & Thalbi, K. (2008). Comparaison des Différents Modèles de Turbulence d'Un Écoulement Aérodynamique dans Un Cyclone. *Revue des Energies Renouvelables CISM'08 Oum El Bouaghi*, 311-324.
- [2] ANSYS Tutorial Guide
- [3] Flórez-Orrego, D., Arias, W., López, D., & Velásquez, H. (2012). Experimental and CFD study of a single phase cone-shaped helical coiled heat exchanger: an empirical correlation. *PROCEEDINGS OF ECOS 2012 - THE 25TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS*, 375-1-375-19.
- [4] Gunawan, Y. (2014). *Laporan: Simulasi dan Pemodelan Sistem Pembakaran pada Siklon Burner*. Jakarta: P3TKEBTKE.
- [5] Hall, N. (2015). *Navier-Stokes Equations*. National Aeronautics and Space Administration: Glenn Research Center: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/nseqs.html> (Diakses: 19 Juni 2015)
- [6] Hidayat, A. (2009). *Skripsi: Analisa Karakteristik Aliran Dingin (Cold Flow) di Gas Burner Sistem Gasifikasi dengan Metode Computational Fluid Dynamic*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [7] *British Standard Institutions* (1991). *Guide to selection and application of flowmeters for the measurement of fluid flow in closed conduits*: BS 7405:1991
- [8] Muslimu, F. A. (2012). *Skripsi: Analisa Aliran pada Elbow Proto X-1 Menggunakan CFD*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [9] S. D. Karthik, T., & Durst, F. (2011). *Turbulence Models and Their Applications*. Madras, India: Department of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology.
- [10] The Babcock and Wilcox Co, Cyclone Furnaces Chapter 15th
- [11] Kitto and S.C. Stultz.( 2005). *Steam: Its Generation and Use*, 41 edition. Ohio, USA
- [12] Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. (2008). *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. Burlington, MA, USA: Elsevier.
- [13] Sumaryono dkk .( 2009).*Optimasi Power Plant Pembakar Siklon Batubara S, Indonesia*
- [14] Surinda, Denny. (2012). Unjuk kerja burner serbuk batubara dengan laju aliran massa udara 0,85 0,85 m<sup>3</sup>/s dengan variasi laju aliran massa bahan bakar, Indonesia
- [15] Tekmira. (2003-2009). *Puslitbang Teknologi Mineral Dan Batubara. Teknologi Pengolahan Dan Pemanfaatan Batubara: Modifikasi Boiler Industri Berbahan Bakar Minyak Menjadi Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Pembakar Siklon*.

- [16] *International Organization of Standardization (1991). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices -- Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full: ISO 5167-1:1991.*



## Lampiran

Lampiran 3.1. Flowchart Urutan Proses Simulasi CFD



Lampiran 4.1. Tabel Himpunan Variabel Kondisi Batas Awal.

Kondisi	Kecepatan (m/s)	Bilangan Reynolds	$I$ (%)	$k$ ( $m^2/s^2$ )	$\epsilon$ ( $m^2/s^3$ )
1	9.35	65042.76	4.00	0.21	2.12
2	8.45	58793.51	4.05	0.18	1.69
3	7.52	52291.36	4.11	0.14	1.20