



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SIMULASI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN GAS HASIL  
GASIFIKASI BIOMASSA PADA BURNER DENGAN VARIASI  
JUMLAH *SWIRL VANE***

**SKRIPSI**

**ANGGARIAWAN ADI PRABOWO**

**06 06 07 29 44**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI**

**DEPOK**

**JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SIMULASI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN GAS HASIL  
GASIFIKASI BIOMASSA PADA BURNER DENGAN VARIASI  
JUMLAH SWIRL VANE**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ANGGARIAWAN ADI PRABOWO**

**06 06 07 29 44**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI**

**DEPOK**

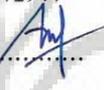
**JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Anggariawan Adi Prabowo

NPM : 0606072944

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Anggariawan Adi Prabowo  
NPM : 0606072944  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa Pada Gas Burner dengan Variasi Jumlah Swirl Vane.

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Adi Surjastyo, M.Eng  
Penguji : Prof. Dr. I Made Kartika Dhiputra Dipl.-Ing  
Penguji : Dr. Ir. R Danardono Agus Sumarsono DEA, PE  
Penguji : Dr. Agus Sunjarianto Pamitran ST., M.Eng



Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 12 Juli 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Tanpa seizin-Nya skripsi yang berjudul “Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa pada Burner dengan Variasi Jumlah Swirl Vane” ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Adapun topik yang dibahas dalam skripsi ini adalah mengenai simulasi untuk membandingkan efek dari pengecilan diameter masuk bahan bakar pada gas burner dengan variasi jumlah blade swirl dalam efisiensi gas burner sendiri, apakah nantinya semakin bagus, sama saja atau malah mengurangi efisiensi sendiri.

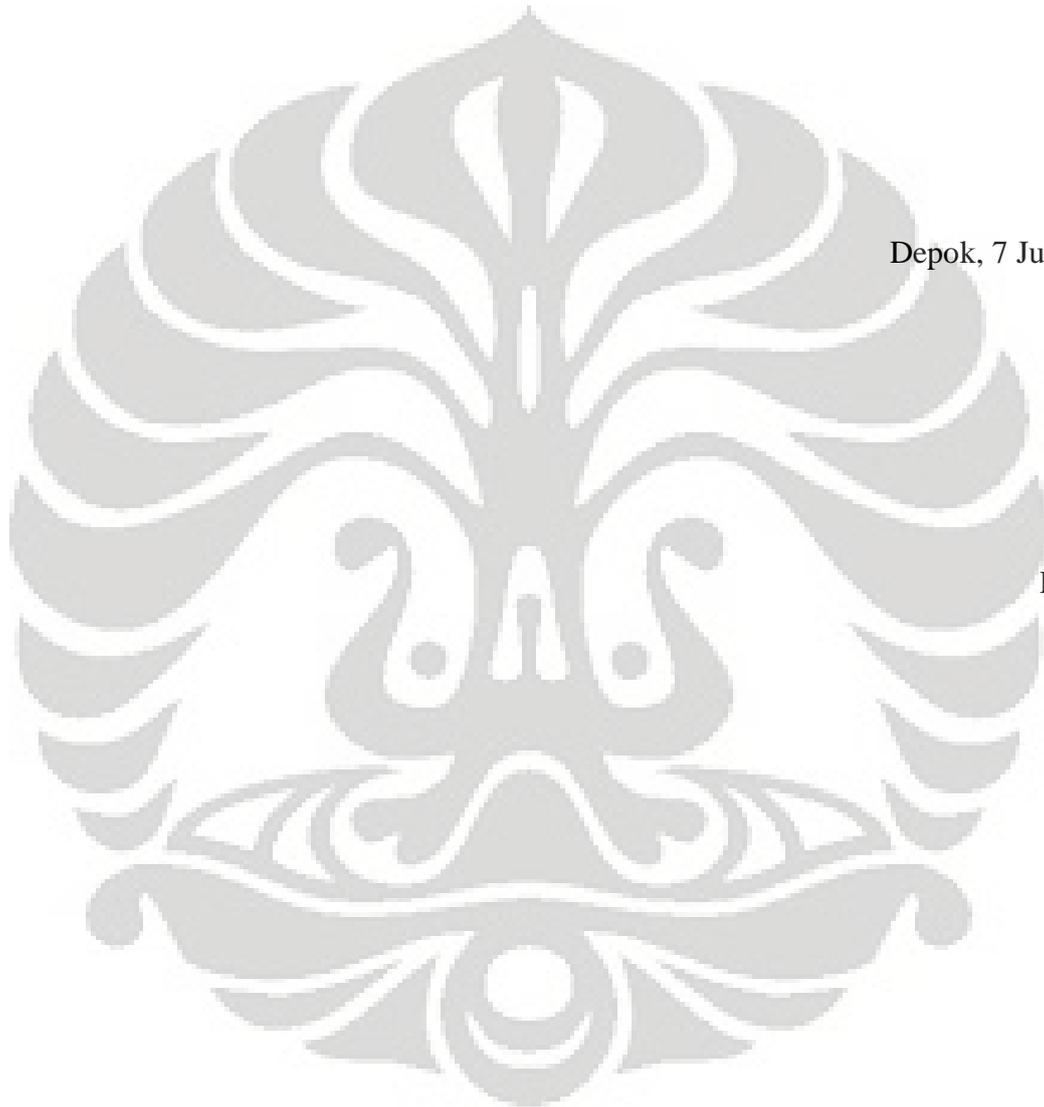
Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Adi Surjosatyo., M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Ibu untuk cinta dan kasihnya yang selalu mendukung dan memberikan ketenangan dalam kondisi apapun, pakde Kus, bude Nas, om Dodo dan tante Eel yang telah mendukung dan memberikan masukan yang berguna, Mba Novi, Wawan dan keponakan dan adek-adekku tercinta yang telah memberi warna dan semangat dalam hidupku serta semua keluarga besarku yang telah sangat membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
- 3) Bapak dan Eyangku tercinta yang walaupun sudah tidak bisa mendukung secara langsung tapi spirit kalian akan selalu memberikan semangat yang lebih, aku persembahkan skripsi ini untuk kalian.
- 4) Baiqunni M Irvan sebagai teman satu tema, Angga Purnama P, Raja Darmawan, Raka Kausar L, Septian, dan Rezha Kurnia sebagai teman satu bimbingan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 5) Prya, Dipo, Danal, Danang, Fakhri, Farid, Lintang, dan Octo sebagai teman bermain yang selalu memberikan keceriaan dan membantu setiap ada masalah.
- 6) Teman-teman satu angkatan teknik mesin 2006 yang selama empat tahun ini berjuang bersama.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 7 Juli 2010

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

### TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Anggariawan Adi Prabowo

NPM : 0606072944

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa Pada Gas Burner dengan Variasi Jumlah Swirl Vane.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juli 2010

Yang menyatakan



(Anggariawan Adi Prabowo)

## Abstrak

Nama : Anggariawan Adi Prabowo  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul : Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi  
*Biomassa Pada Gas Burner dengan Variasi Jumlah Swirl Vane.*

Gas burner merupakan salah satu proses akhir dari tahapan gasifikasi yang berfungsi untuk mencampur bahan bakar dengan udara atau oksidator yang digunakan untuk membentuk nyala api pembakaran. Bahan bakar yang digunakan adalah gas dari pembakaran tidak sempurna bahan-bahan seperti sekam padi, batok kelapa, batu bara dll yang disebut syngas. Belum banyak yang meneliti mengenai karakteristik api yang dihasilkan. Selain itu, api yang dihasilkan dari burner yang ada juga belum merata ke seluruh bagian dari ruang bakar. Salah satu cara untuk membantu penyebaran api adalah dengan memperkecil diameter dari inlet bahan bakar dengan beberapa variasi nilai *swirl vane* mulai dari 6, 8, dan 10. Nantinya akan dilihat karakteristik dari nyala api apabila kita mengecilkan diameter inlet bahan bakarnya dengan variasi jumlah swirlnya, apakah nantinya akan lebih baik atau tidak.

Ada beberapa parameter yang perlu diasumsikan agar simulasi berjalan lancar, antara lain adalah fraksi massa dari *syngas*, bahan bakar yang digunakan adalah batok kelapa, fraksi massanya adalah  $N_2$  57,97%,  $CO$  15,19%,  $H_2$  5,45%, dan  $CH_4$  3,09%. Dengan kecepatan *syngas* adalah 1,5 m/s dan kecepatan udara tangensialnya adalah 3 m/s. Temperatur *syngas* sendiri adalah 473,15 K dan temperatur udara tangensialnya 300,15 K. Metodologi penelitian yang dilakukan antara lain memodelkan gas burner menggunakan persamaan pengatur dalam mensimulasikan aliran fluida gas dan pembakaran, dilakukan optimasi meshing dan penentuan kondisi batas. Di simulasi ini menggunakan metoda Computational Fluid Dynamics.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan semakin kecilnya jumlah vane pada swirl maka akan semakin besar nilai turbulen kinetic energy pada masing-masing burner tersebut, hal ini akan mempengaruhi besarnya zona resirkulasi internal dari aliran yang ada. Zona resirkulasi internal ini akan mempengaruhi kualitas pembakaran yang ada. Sementara variasi jumlah swirl vane tidak banyak mempengaruhi temperatur yang dihasilkan dari ketiga jenis gas burner yang dihasilkan.

Kata Kunci : Biomassa, Gassifikasi, Gas Burner, *Swirl Number*.

## **Abstract.**

Name : Anggariawan Adi Prabowo  
Program Study : Mechanical Engineering  
Title : Simulation of Flame Characteristic of Burning Gas as Result of Biomass Gassification in Gas Burner with Variation of Swirl Vane.

Gas burner is the end of process of gassification phase that its purpose is to mix fuel with air and other oxidator to form burning flame. Fuel which used in this simulation comes from uncomplete burned reaction from material such as coal, farm waste, garbage, wheat waste and other material to form a synthetic gas which use as a fuel for this process. There are no many research to see flame characteristic that produce in gas burner, meanwhile flame that produce in this gas burner not spreadly well all over the burner. One method to overcome this problem is using variation of the swirl vane number between 6, 8, and 10 and decrease the diameter of fuel inlet diameter. With simulation, we shall see the effect of using variation of swirl blade number and decreasing of gas burner inlet fuel diameter, is it good enough or not.

In order to complete the simulation, there are a little assumption to make. First, fuel taht used in this simulation comes from coconut waste with mass fraction is  $N_2$  57,97%.  $CO$  15,19%,  $H_2$  5,45%, dan  $CH_4$  3,09%. The velocity of synthetic gas through the inlet fuel is 1,5 m/s otherwise the velocity of secondary air through gas burner is 3 m/s. Temperature synthetic gas is 473,15 K and temperatur of secondary air is 300,15 K. Methodology of research include modeling of the gas burner using it,s governing equations to simulate fluid flow and combustion gases, afterwards do the meshing optimizing and defining the boundary conditions. In this simulation using Computational Fluid Dynamics method.

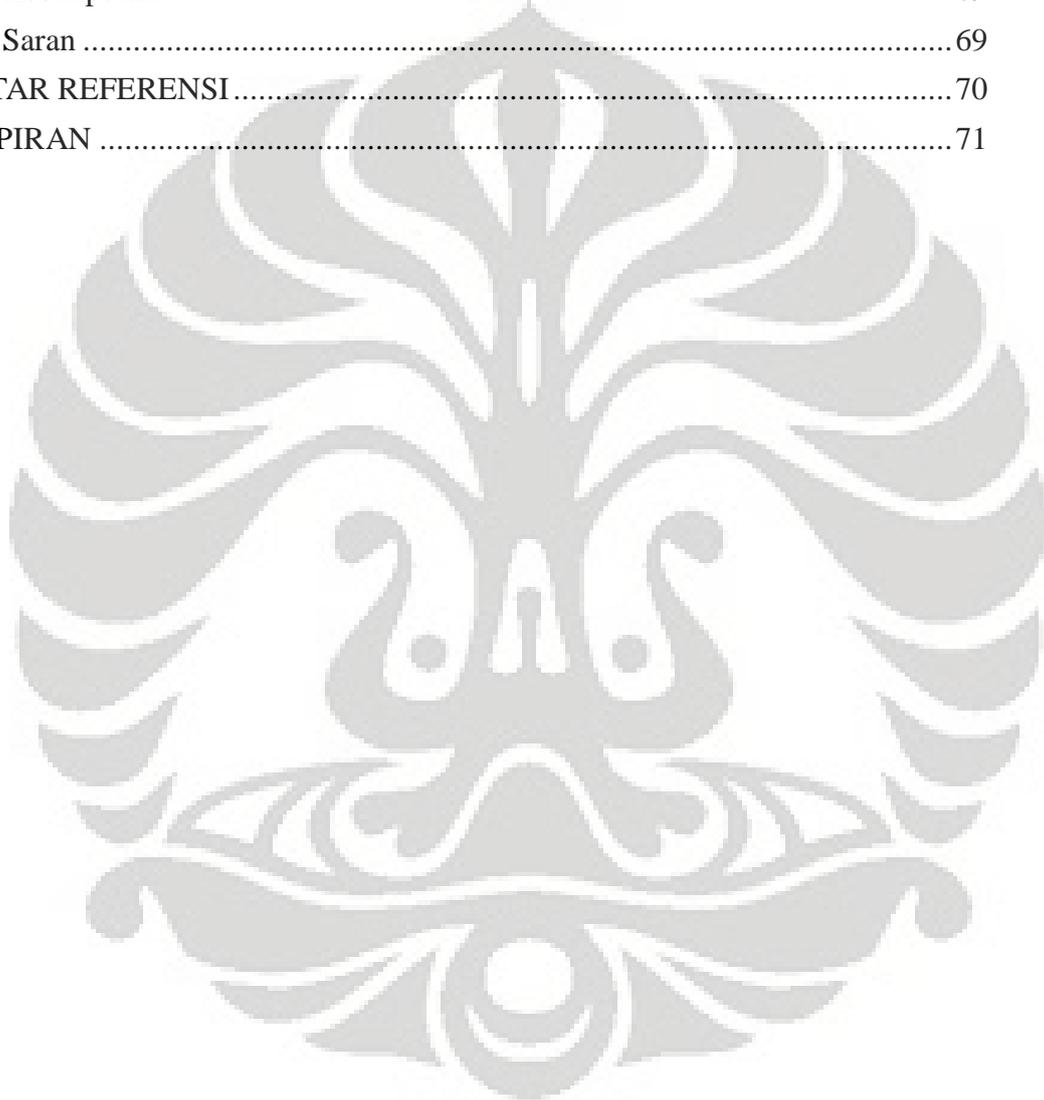
The simulation result shows that decreasing the amount of the swirl vane will effect to the greater value of the turbulent kinetic energy of the flow in each burner, this will affect in the internal recirculation zone of the flow and the quality of mixing between fuel and air in gas burner. Meanwhile by varying amount of the swirl vane doesn't affect to temperature generated from the three type of gas burners produced.

Keyword : Biomass, Gassification, Gas Burner, Swirl Blade Number.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAA PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Judul Penelitian .....	1
1.2 Latar Belakang masalah .....	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
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Biomassa .....	6
2.2 Gasifikasi Biomassa.....	7
2.3 Gas Burner.....	8
2.4 Komposisi Syngas dan Injeksi Udara Tangensial.....	13
2.5 Kualitas Pencampuran .....	13
2.6 Teknik Komputasi.....	19
BAB 3 LANGKAH PEMODELAN .....	21
3.1 Pemodelan .....	21
3.2 Desain Gas Burner .....	22
3.2.1 Gas Burner .....	24
3.2.2 Konis .....	24
3.2.3 Swirl.....	25
3.2.4 Inlet Bahan Bakar .....	28
3.3 Mesh dan Boundary .....	29
3.4 Langkah-langkah Permodelan .....	31

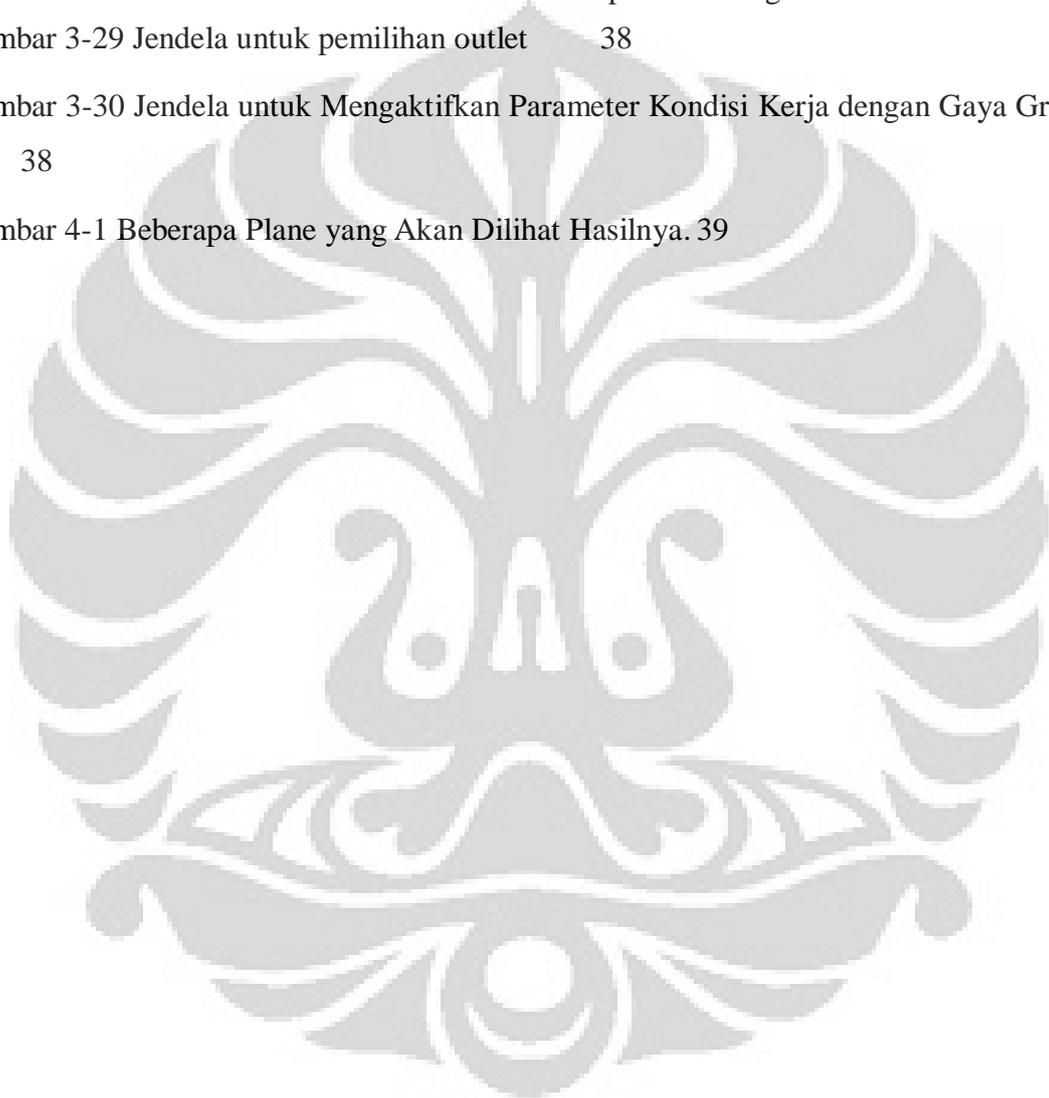
Bab 4 HASIL dan ANALISA .....	41
4.1 Plane $x = 0,05$ .....	41
4.2 Plane $x = 0,2$ .....	48
4.2 Plane $x = 0,5$ .....	54
4.2 Plane Tengah Melintang Sumbu $y$ .....	60
4.2 Kadar Gas Pada Plane Outlet .....	64
Bab 5 KESIMPULAN dan SARAN .....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	69
DAFTAR REFERENSI .....	70
LAMPIRAN .....	71



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Proses Gasifikasi .....	2
Gambar 1-2 Skematik Gasifikasi Biomassa .....	3
Gambar 2-1 Skematik Siklus Biomassa .....	6
Gambar 2-2 Skematik Sistem Gasifikasi.....	8
Gambar 2-3 Skematik Non-Premixed Burner Skala Lab.....	10
Gambar 2-4 Penampang Outlet Udara dan Produser Gas pada <i>Cyclone Chamber</i> .....	11
Gambar 2-5 Kecepatan dan Tekanan Ketika Melewati Diffuser .....	12
Gambar 2-6 Zona Resirkulasi pada Pusaran.....	15
Gambar 2-7 Zona Resirkulasi pada Non-Premixed Swirl Burner .....	15
Gambar 2-8 Api pada Nozzle Mix Burner. a) Long Jet Flame, No Swirl; b.) Kombinasi Jet Flame dan Zona Resirkulasi Internal Parsial, Intermediate Swirl; c.) Zona Resirkulasi Internal, High Swirl	16
Gambar 2-9 Skematik Non-Premixed Swirl Burner, Quarl, dan Combustion Chamber	18
Gambar 3-1 Sistem Gas Burner .....	22
Gambar 3-2 Sistem Gas Burner Tampak Samping .....	23
Gambar 3-3 Sistem Gas Burner Tampak Depan.....	23
Gambar 3-4 Pemodelan Gas Burner dengan Software Solidwoks .....	24
Gambar 3-5 Dimensi Gas Burner .....	24
Gambar 3-6 a. Pemodelan Konis b. Dimensi Konis .....	25
Gambar 3-7 Pemodelan Swirl 6.....	26
Gambar 3-8 Dimensi Swirl 6.....	26
Gambar 3-9 Pemodelan Swirl 8	26
Gambar 3-10 Dimensi Swirl 8	27
Gambar 3-11 Pemodelan Swirl 10 .....	27
Gambar 3-12 Dimensi Swirl 10 .....	27
Gambar 3-13 Pemodelan Inlet Bahan Bakar .....	28
Gambar 3-14 Dimensi Inlet Bahan Bakar .....	28
Gambar 3-15 Penyederhanaan Model Gas Burner .....	29
Gambar 3-16 Hasil Meshing dengan Interval Size 30 dan Gambar Jendela untuk Meshing ...	30
Gambar 3-17 Identifikasi Boundary Condition .....	30
Gambar 3-18 Grid Gas Burner .....	31
Gambar 3-19 Jendela untuk Mendefinisikan Solver yang Digunakan	32
Gambar 3-20 Jendela untuk Mengaktifkan Persamaan Energi	32

Gambar 3-21 Jendela untuk Mengaktifkan Model Turbulensi .....	33
Gambar 3-22 Jendela untuk Mengaktifkan Spesies Kimia Reaksi dan Perpindahan .....	32
Gambar 3-23 Jendela untuk Mendefinisikan Material dan Reaksi .....	34
Gambar 3-24 Jendela untuk Memasukkan Reaksi yang Ada .....	34
Gambar 3-25 Jendela untuk Mengaktifkan Material .....	35
Gambar 3-26 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Bahan Bakar .....	35
Gambar 3-27 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Udara .....	37
Gambar 3-28 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Dinding .....	37
Gambar 3-29 Jendela untuk pemilihan outlet	38
Gambar 3-30 Jendela untuk Mengaktifkan Parameter Kondisi Kerja dengan Gaya Gravitasi	38
Gambar 4-1 Beberapa Plane yang Akan Dilihat Hasilnya.	39



## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Gas Hasil Gasifikasi. 12



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ .....	40
Grafik 4-2 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ .....	40
Grafik 4-3 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ . .....	41
Grafik 4-4 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ . .....	41
Grafik 4-5 Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ .....	42
Grafik 4-6 Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ .....	42
Grafik 4-7 Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ .....	43
Grafik 4-8 Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ .....	43
Grafik 4-9 Fraksi Massa Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ .....	44
Grafik 4-10 Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ .....	44
Grafik 4-11 Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $z$ .....	45
Grafik 4-12 Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,05$ line $y$ .....	45
Grafik 4-13 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ .....	46
Grafik 4-14 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	46
Grafik 4-15 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ .....	47
Grafik 4-16 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	47
Grafik 4-17 Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ .....	48
Grafik 4-18 Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	48
Grafik 4-19 Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ .....	49
Grafik 4-20 Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	49
Grafik 4-21 Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ .....	50
Grafik 4-22 Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	50
Grafik 4-23 Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $z$ . .....	51
Grafik 4-24 Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,2$ line $y$ .....	51
Grafik 4-25 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	52
Grafik 4-26 Temperatur vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	52
Grafik 4-27 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	53
Grafik 4-28 Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	53
Grafik 4-29 Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	54
Grafik 4-30 Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	54
Grafik 4-31 Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	55
Grafik 4-32 Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	55
Grafik 4-33 Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	56
Grafik 4-34 Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	56

Grafik 4-35 Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $z$ .....	57
Grafik 4-36 Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane $x = 0,5$ line $y$ .....	57
Grafik 4-37 Temperatur vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	58
Grafik 4-38 Energi Kinetik Turbulen vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	59
Grafik 4-39 Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	59
Grafik 4-40 Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	60
Grafik 4-41 Fraksi Massa Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	61
Grafik 4-42 Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane tengah line $x$ .....	62



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1 Judul Penelitian.

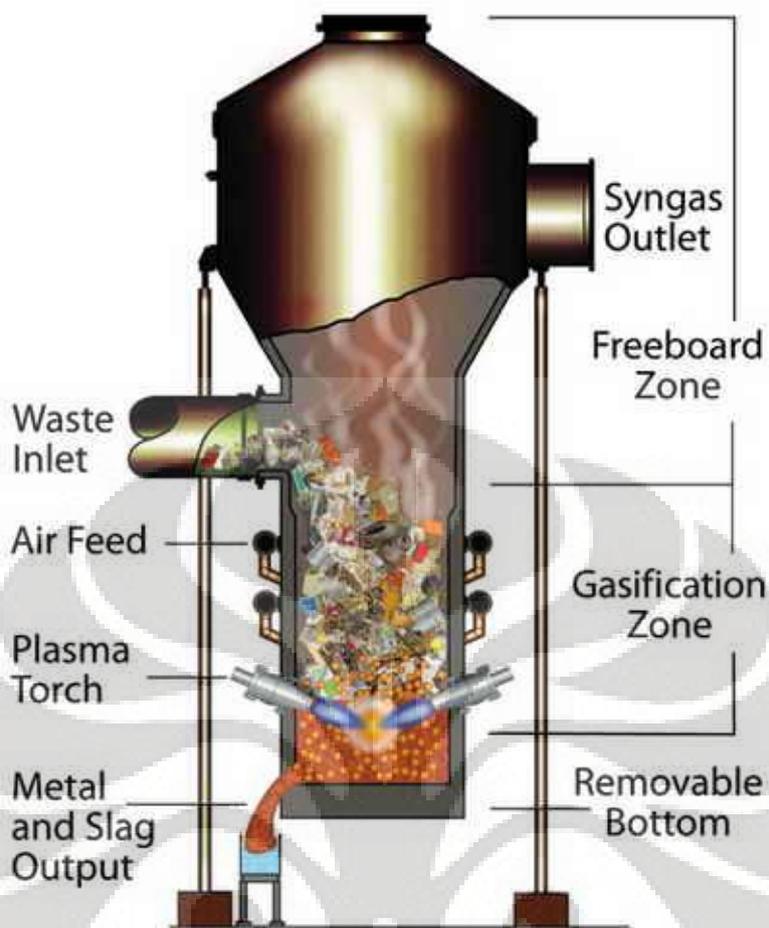
Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa pada Gas Burner dengan Variasi Jumlah Swirl.

#### I.2 Latar Belakang.

Dewasa ini kebutuhan akan bahan bakar sangatlah tinggi, tetapi karena ketersediaan bahan bakar yang terbatas, terutama bahan bakar fosil, maka banyak pihak yang berlomba-lomba untuk mencari alternatif sumber bahan bakar baru yang dapat diperbaharui. Selain itu isu lingkungan juga semakin marak saat ini sehingga selain ketersediaan bahan bakar yang dapat diperbaharui, bahan bakar juga harus ramah terhadap lingkungan dalam artian tingkat polusi dari bahan bakar tersebut dapat di tekan ke batas minimal yang ada.

Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan biomassa. Biomassa adalah sumber bahan bakar terbarukan yang berasal dari *biological material* dari makhluk hidup, biomassa dapat berupa arang kayu, sekam padi, sampah daun, kotoran ternak dan benda-benda sisa yang berasal dari makhluk hidup. Salah satu cara untuk mendapatkan energi dari biomassa adalah dengan gassifikasi biomassa.

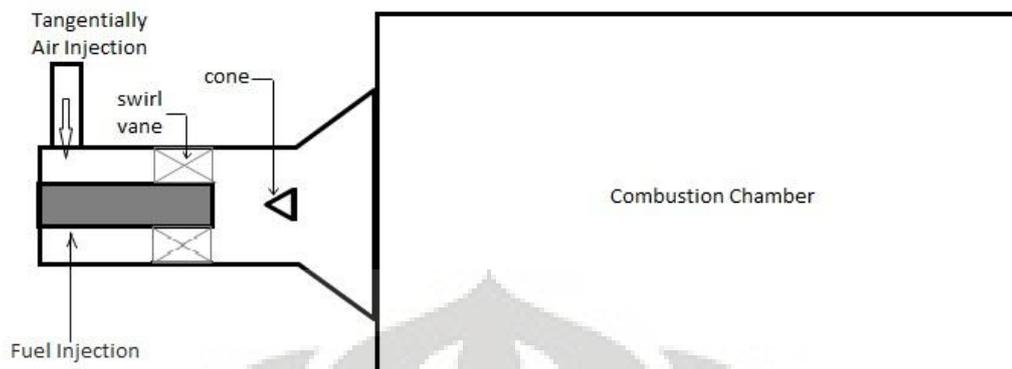
Gassifikasi sendiri berarti pembakaran material yang mengandung unsur karbon seperti biomass, batu bara, minyak bumi dan yang lainnya menjadi karbon monoksida dan hidrogen. Pembakaran tersebut merupakan pembakaran yang tidak sempurna sehingga alih-alih menghasilkan karbon dioksida dan air seperti pembakaran sempurna tetapi malah menghasilkan karbon dioksida dan hidrogen. Gas hasil pembakaran tidak sempurna tersebut dinamakan *syntetic gas* atau biasa disingkat dengan *syngas*, *syngas* inilah yang nantinya digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil karena bahan baku utama dari gassifikasi ini berasal dari biomassa.



Gambar 1-1 Proses Gasifikasi

(sumber : [http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass\\_gasification](http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass_gasification) )

Hasil dari gasifikasi biomassa dapat dipakai untuk mesin bakar dan beberapa aplikasi industri yang lainnya. Salah satu yang akan dibahas adalah gasifikasi biomassa sebagai bahan bakar pengganti batu bara dalam industri pembangkitan. *Syngas* sebagai hasil dari gasifikasi batu bara sendiri nantinya akan direaksikan atau di bakar di dalam *combustion chamber* oleh *burner*.



Gambar 1-2 Skematik Burner Gasifikasi.<sup>[1]</sup>

Api hasil pembakaran *syngas* tersebut nantinya akan memenuhi *combustion chamber* dari alat di atas. Semakin menyebar dan merata nyala api dan kalor yang dihasilkan, maka akan semakin baik pula hasil dari pembakaran tersebut.

Salah satu cara untuk mendapatkan penyebaran api yang bagus adalah dengan mengatur jumlah swirl vane yang digunakan dan dengan mengecilkan diameter dari *fuel injection* yang ada. Untuk mengetahui karakteristik api yang terjadi di dalam burner tersebut maka digunakanlah *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yaitu dengan bantuan software Fluent dan Gambit.

### I.3 Perumusan masalah.

Pada laporan tugas akhir ini, membahas tentang karakteristik suatu nyala api pada burner gasifikasi biomassa apabila inlet bahan bakarnya diperkecil dengan variasi swirl number pada software computational fluid dynamics.

percobaan akan difokuskan pada tiga jenis burner dengan menggunakan analisa aliran dingin (cold flow) dan analisa aliran panasnya (hot flow). Tiga jenis burner yang akan di uji adalah burner dengan diameter inlet 52 mm dengan swirl number 6, diameter inlet 52 mm dengan swirl number 8, dan burner dengan diameter inlet sama tetapi dengan swirl number 10.

Nantinya akan dilihat perbedaan dari ketiga jenis burner tersebut untuk mengetahui burner jenis mana yang paling efisien dan karakteristik nyala apinya paling bagus.

#### 1.4 Tujuan Penelitian.

Meningkatan kualitas dan efisiensi gas burner yang ada dengan mengetahui pengaruh dikecilkannya diameter dari inlet bahan bakar dan variasi dari nilai *swirl vane* yang ada pada karakteristik api yang dihasilkan melalui simulasi. Simulasi yang dilakukan terfokus pada *hot dan cold flow* atau aliran panas dan dingin dari api yang dihasilkan oleh gas burner tersebut. Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis bermaksud memfokuskan penelitian untuk mendapatkan hasil sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik api yang dihasilkan dari gas burner di dalam ruang bakar (*Combustion Chamber*).
2. Mengetahui pengaruh nilai *swirl vane* dan dikecilkannya diameter inlet bahan bakar terhadap karakteristik api yang dihasilkan.

#### 1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang dilakukan, agar penelitian ini lebih terfokus adalah

1. Dimensi dasar dari gas burner yang ada dilakukan modifikasi dengan mengecilkan diameter dari inlet bahan bakar dan variasi *swirl number*.
2. Kecepatan *syngas* tetap 5 m/s.
3. Kecepatan injeksi udara tangensial 9,7 m/s.
4. Temperatur *syngas* 473,15 K dan Udara 300,15 K
5. Syngas terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub> yang diasumsikan berfraksi massa tetap. Fraksi massa ini didapatkan dari penelitian yang sebelumnya.
6. Software yang digunakan adalah Solidworks untuk membuat bangun burner, gambit untuk proses meshing, dan fluent untuk proses komputasi.

#### 1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memilih objek penelitian.
2. Melakukan tinjauan pustaka.
3. Menggambar objek penelitian.
4. Melakukan simulasi pada objek penelitian dengan batasan yang telah ditentukan.
5. Mendapatkan hasil simulasi dan mengolah data yang diperoleh.
6. Membuat analisa dari data yang diperoleh dan menyimpulkannya.

#### 1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis akan membagi dalam lima bab, yang masing-masing terdiri dari sub bab. Hal tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dan

mengarahkan pembahasan agar didapatkan informasi secara menyeluruh. Kerangka penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

**BAB 1 Pendahuluan**, berisi :

latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

**BAB 2 Dasar Teori**, berisi :

Gas burner (disain), Komposisi *syngas* dan injeksi udara tangensial, teknik komputasi (Solidworks, Gambit dan Fluent)

**BAB 3 Pemodelan**, berisi :

Tahapan-tahapan dalam mensimulasikan burner : menggambar burner di Solidworks, mengimport ke GAMBIT, dan melakukan simulasi di FLUENT.

**BAB 4 Hasil Pemodelan dan Analisa**, berisi :

pengolahan data-data yang diperoleh dan dijadikan suatu tabel dan grafik yang terpadu

**BAB 5 Kesimpulan dan Saran**, berisi :

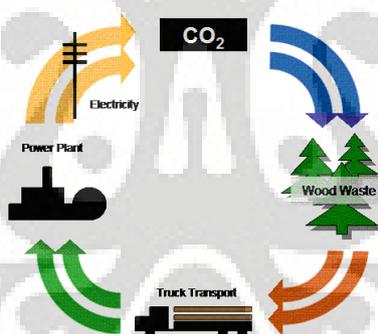
pengambilan kesimpulan dari hasil simulasi. Dilengkapi dengan usulan serta saran yang diharapkan dapat membantu kesempurnaan penelitian.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.

### 2.1 Biomassa

Energi biomassa merupakan energi yang didapatkan dari sinar matahari yang kemudian ditangkap oleh materi organik seperti tumbuhan ataupun hewan. Biomassa dapat berupa tumbuhan seperti pepohonan, rerumputan, tumbuhan pertanian, atau materi biologi. Biomassa bisa digunakan secara langsung dalam bentuk bahan bakar padat, atau dikonversi menjadi cairan atau fase gas untuk memproduksi tenaga listrik, panas, kimia, atau bahan bakar. Salah satu teknologi yang memanfaatkan biomassa dan mampu mengkonversi bahan tersebut menjadi bahan bakar antara lain adalah teknologi gasifikasi biomassa.

Bahan baku dari biomassa ini, didapatkan dari limbah pertanian ataupun perkebunan seperti arang kayu, sekam padi, maupun jerami. Hal tersebut merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan biomassa sebagai bahan baku pengganti energi fosil.



Gambar 2-1 Skematik Siklus Biomassa

(<http://www.energi.com/biomass>)

Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar biomassa memerlukan energi yang tersimpan di dalam materi organik untuk memproduksi tenaga yang bersih dan mampu diperbarharui. Pembangkit listrik tenaga biomassa menggunakan materi tersebut sebagai bahan bakar. Materi tersebut dibakar di bawah kendali, menghasilkan emisi yang rendah untuk menghasilkan energi listrik. Energi biomassa dapat dihasilkan dari proses gasifikasi, pyrolisis, ekstraksi secara anaerobic atau pembakaran secara langsung (100% biomassa dibakar atau dibakar dengan bantuan batu bara seperti yang sudah diaplikasikan pada pembangkit listrik berbahan bakar batu bara). (<http://www.energi.com/biomass>)

## 2.2 Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi berarti proses pembakaran yang tidak sempurna yang dilakukan untuk menghasilkan gas yang mampu-bakar. Pada gasifikasi biomassa ini, gas mampu-bakar yang dihasilkan antara lain adalah metana (CH<sub>4</sub>), ethylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>), carbon monoksida (CO), Nitrogen (N<sub>2</sub>), carbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hydrogen (H<sub>2</sub>) dengan komposisi masing-masing yang sudah ditentukan dari hasil percobaan sebelumnya yang sudah dilakukan di lapangan. Campuran dari senyawa tersebut disebut juga dengan *syngas*. Hasil gas tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menjalankan gas burner.

Reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi, sangat terkait erat dengan kadar karbon yang terdapat di dalam biomassa tersebut. Pada biomassa terdapat beberapa unsur seperti C, H, O dalam presentase tertentu. Beberapa reaksi dasar dari proses gasifikasi antara lain adalah:

- Gasifikasi dengan oksigen dan udara (pembakaran parsial):  
 $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$
- Gasifikasi dengan karbon dioksida  
 $C + CO_2 \rightarrow 2CO$
- Gasifikasi dengan uap  
 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

Pada umumnya panas yang diperlukan untuk memperoleh reaksi gasifikasi secara menyeluruh, dan ini biasanya disediakan melalui reaksi pembakaran :

- $C + CO_2 \rightarrow 2CO$

Reaksi – reaksi lainnya yang penting dari proses gasifikasi adalah sebagai berikut:

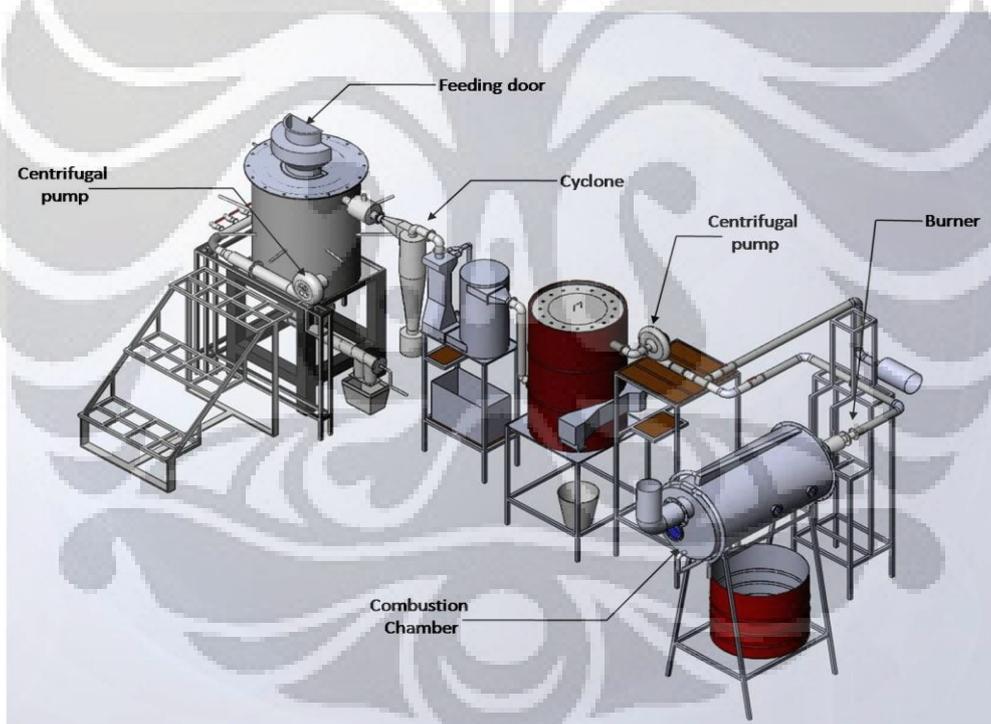
- Reaksi pergeseran gas-air.  
 $CO + H_2O \rightarrow CO + H_2$
- Methanasi  
 $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$

Reaksi-reaksi di atas berkaitan dengan energi reaksi dan stokiometri tetapi sesungguhnya akan tergantung juga dari jumlah pereaksi dan produknya, kondisi suhu, tekanan, dan lamanya reaksi.

### 2.3 Gas Burner.

Salah satu komponen terpenting yang mengakhiri proses gasifikasi adalah pada bagian Gas Burner. Pada bagian ini proses yang terjadi adalah pencampuran antara *syngas* dengan oksidator atau injeksi udara tangensial yang kemudian dipicu dengan pematik (*spark*) agar terbentuk api pembakaran. Api dari pembakaran tersebut akan mengisi ruang bakar atau *Combustion Chamber*, dengan karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh adanya konis.

Gas burner merupakan bagian dari proses panjang gasifikasi yang berfungsi untuk mencampur bahan bakar (*syngas*) dengan oksidator (injeksi udara tangensial) yang dikombinasikan untuk membentuk nyala api pembakaran. Nyala api hasil pembakaran akan menempati ruang bakar (*combustion chamber*), dimana dibatasi oleh permukaan tahan api dengan limit temperature dan ketebalan tertentu. Gas burner biasanya terletak dibagian akhir dari proses gasifikasi.



Gambar 2-2 Skematik Sistem Gasifikasi.

Gas burner pada sistem gasifikasi memiliki pengaruh penting terhadap optimasi penggunaan gas yang dihasilkan dari gasifikasi. Fungsi dari proses gasifikasi antara lain adalah :

1. Mencampur gas hasil gasifikasi (*syngas*) dengan udara (oksidator).
2. Menentukan karakteristik api yang dihasilkan pada ruang bakar.

### 3. Melakukan pengapian pada sistem gasifier.

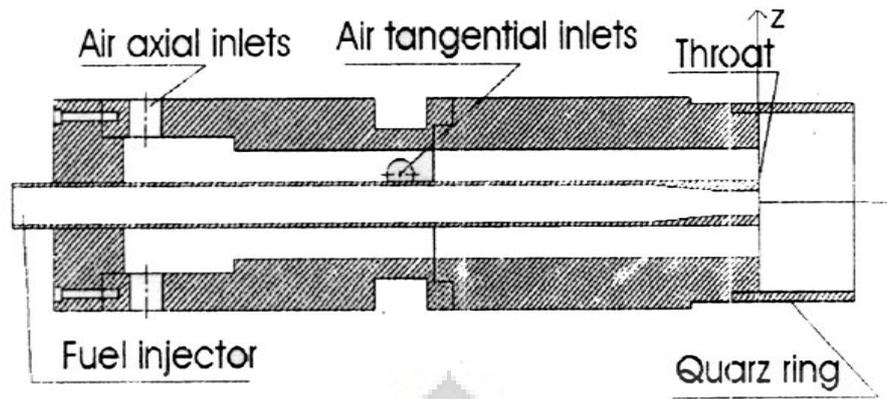
Gas burner memiliki fungsi utama untuk membakar gas hasil gasifikasi untuk kemudian dinyalakan menjadi api pembakaran yang digunakan untuk keperluan khusus lainnya.

Giulio Solero (berdasar penelitian oleh Chen. RH dan Claypole TC and Syred N) menyatakan bahwa aliran pusaran tanpa pencampuran awal (non-premixed) secara luas digunakan di industri-industri yang mempergunakan sistem pembakaran, khususnya turbin-turbin gas, boiler-boiler dan tungku-tungku pembakaran/perapian sebab alasan keamanan dan kestabilan. Pusaran meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara, memperbaiki kestabilan nyala (*flame stabilization*) dan mempunyai pengaruh kuat pada karakteristik lidah/nyala api (*flame characteristics*) dan emisi bahan pengotor (*pollutan-emission*).

Selanjutnya Giulio Solero (berdasar penelitian oleh Gupta AK, Gouldin FC) menyatakan meskipun aliran pusaran lebih tinggi penggunaannya dalam aplikasi pembakaran, sebuah pemahaman secara seksama/teliti adalah jauh untuk dijangkau, terutama dibawah tinjauan simulasi secara numerik (*numerical simulation*), terutama memperlihatkan secara tiga dimensi tinggi perubahan-perubahan temperatur untuk bagian arus turbulen dan seting yang mungkin pada fenomena kestabilan dalam tipe aliran.

Sebuah kondisi/ciri utama pada intensitas pusaran tinggi (*swirl number, S*) $\geq 0,6$  adalah pembangkitan untuk mensirkulasikan ulang gelembung daerah sekitar lubang keluar pancaran bahan bakar (*fuel-jet*). Resirkulasi ulang memperlihatkan kemampuan untuk efisiensi pencampuran antara reactan dalam daerah dekat lubang keluar bahan bakar (*fuel outlet*), oleh karena itu merupakan peranan utama sebuah homogenisator mempercepat untuk campuran mampu bakar (*combustible mixture*) dan memperpendek ruang pembakaran (*combustion chamber*).

Giulio Solero dalam penelitiannya menggunakan swirl burner tanpa pencampuran awal (non-premixed) dalam skala lab. Seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2-3 Skematik Non-Premixed Burner Skala Lab

Pusaran udara diberikan melalui lubang masuk axial dan tangensial, kekuatan pusaran diatur/dikontrol oleh variasi perbandingan jumlah aliran udara axial dan tangensial. Bahan bakar (metane) diinjeksikan melalui sebuah lubang nosel (*single hole-nozzle*) dengan diameter  $d_j = 8$  mm pada leher burner (*burner throat*). Dengan aliran rata-rata metane  $0,00123$   $m^3/h$ , aliran rata-rata udara  $0,024$   $m^3/h$  serta angka pusaran (*swirl number*)  $S=0,75$  dihasilkan nyala pada daerah pencampuran primer yaitu sebelah dalam dekat Quartz ring tampak lebih bersih dan semakin keluar adalah daerah biru (*blue region*) dengan inti bercahaya merata.

Adi Suryosatyo dan Farid Ani, pada tahun 2002 telah melakukan pengembangan sistem pembakaran biomassa bertingkat dua yang diintegrasikan dengan alat pembakar berpusar (*swirl burner*) untuk mengurangi emisi gas. Pada penelitian ini digunakan limbah batok kelapa sawit (*oil palm shell*) sebagai bahan bakar. Sistem ini terdiri dari : tingkat pertama adalah updraft gasifier dimana limbah batok kelapa sawit digasifikasi kemudian gas hasil gasifikasi melalui pencampuran awal terlebih dahulu dialirkan ke tingkat kedua yang terdiri dari *cyclone chamber* kemudian dibakar dalam ruang bakar kedua (*secondary chamber*). Dari hasil penelitian tersebut sistem pembakaran bertingkat sangat signifikan dalam mengurangi emisi CO dan  $NO_x$ . Hasil penelitian pembakaran tanpa dan dengan cyclone combustor menunjukkan hasil pengurangan untuk CO dan  $NO_x$  adalah 2784,6 ppm menjadi 223,33 ppm dan 150 ppm menjadi 136,66 ppm.<sup>[2]</sup>

Konstruksi desain gas *swirl burner* ini merupakan kombinasi konfigurasi pada *cyclone combustor* dan *swirl burner*. Konstruksi desain kombinasi tersebut meliputi :

1. Injeksi udara ke dalam *cyclone chamber* pada lubang inlet tangensial.
2. *Quarl* dirancang berbentuk *diffuser*. *Throat* merupakan penghubung burner dengan *combustion chamber*.

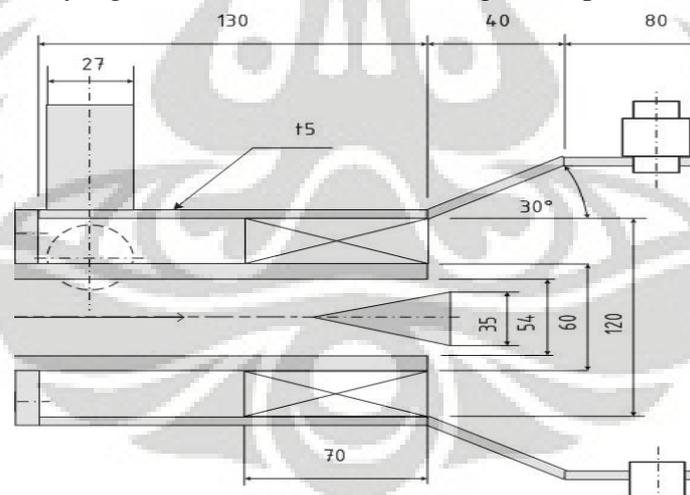
3. Pipa bahan bakar (*fuel rod*) sepanjang sumbu axis *cyclone chamber*.
4. Pada ujung *fuel rod* terpasang *flame holder/stabiliser* berbentuk kerucut (*conical*)
5. *Swirler vane* dengan *hub* (selubung) yang terpasang pada ujung akhir *fuel rod*, dengan sudut vane sebesar  $30^{\circ}$ .

Sistem suplai udara pembakaran merupakan sistem *forced draft* karena menggunakan sebuah fan/kompressor untuk mensuplai udara. Sistem ini terdiri dari sebuah *centrifugal fan*, valve utama, dan saluran *bypass* yang terhubung dengan pipa alir.

*Cyclone chamber* dirancang berbentuk radial untuk mengubah aliran tangensial dari blower menjadi suatu aliran pusaran spiral atau *swirl vortex*. Setelah aliran tangensial diinjeksikan ke dalam *cyclonic chamber*, suatu gaya sentrifugal akan mengubah *path* aliran dan berkontribusi membentuk aliran pusaran rotasi spiral sepanjang *cyclonic chamber*.

Fitur karakteristik pada desain *cyclonic chamber* antara lain :

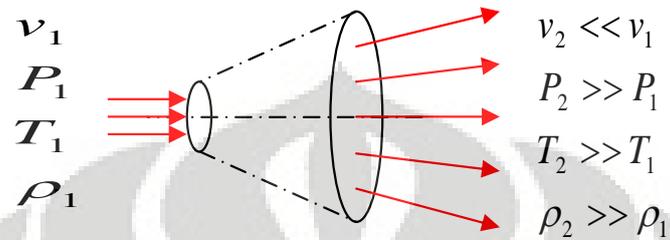
1. Waktu tinggal (*residence time*) yang panjang dari campuran udara-gas
2. Pada daerah exhaust terbentuk zona resirkulasi yang besar, dan intensitas turbulensi yang tinggi.
3. Terjadi peningkatan kecepatan udara (akselerasi) ketika memasuki *cyclonic chamber* akibat adanya perbedaan tekanan ketika udara melewati *reducer* sebagai penghubung sistem suplai udara dengan inlet. Kondisi ini berpengaruh untuk menciptakan sebuah daerah aliran vortex yang kuat dimana akan membangkitkan pusaran (*swirl*) kuat.



Gambar 2-4 Penampang Outlet Udara dan Produser Gas pada *Cyclone Chamber*

Berdasarkan dimensi standar pipa steel ASME/ANSI B36.10/19, digunakan pipa STD 5" untuk selubung *cyclonic chamber* dengan diameter dalam 120 mm. Dimensi *fuel rod* dengan dimensi standar pipa STD 2" dengan diameter dalam 54 mm. Dimensi saluran udara tangensial berupa pipa berukuran standar STD 1" diameter dalam 27 mm. Dimensi *burner throat* mengacu pada standar pipa STD 6" diameter dalam 160mm.

Proses pencampuran udara dan bahan bakar terjadi di daerah *quarl* dan *throat* (*non-premixed*). Konstruksi *quarl* berbentuk *diffuser* dimana terjadi pembesaran luas penampang aliran. Aliran campuran udara-bahan bakar akan terekspansi (divergen) sehingga terjadi perubahan kondisi aliran, yaitu: kenaikan tekanan, kenaikan temperatur, dan kenaikan densitas. Akan tetapi terjadi penurunan kecepatan aliran.



Gambar 2-5 Kecepatan dan Tekanan Ketika Melewati Diffuser

## 2.4 Komposisi Syngas dan Injeksi Udara Tangensial.

Dari proses gasifikasi biomassa, dihasilkan beberapa gas hasil gasifikasi yang disebut juga dengan *syngas* yang terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>. Nilai dari masing masing unsur tersebut tergantung dari biomassa yang digunakan dan proses gasifikasi yang dijalankan. Secara umum gas hasil gasifikasi memiliki nilai presentasi masa seperti yang tercantum pada tabel di bawah ini :

Bahan Baku	Biomassa
Bentuk	Tidak beraturan
Ukuran (cm)	2 x 1
<b>Gas hasil Komposisi (%)</b>	
O <sub>2</sub>	1,22
CO	15,19
H <sub>2</sub>	5,45
CH <sub>4</sub>	3,09
CO <sub>2</sub>	13
N <sub>2</sub>	57,97
<b>Nilai kalori</b>	5254,61 kKal

Tabel 2-1 Gas Hasil Gasifikasi.

(sumber : Pengujian Gas Pupuk Sriwijaya Palembang)

Sedangkan komposisi untuk injeksi udara tangensial yang merupakan udara luar adalah 0,21% O<sub>2</sub> dan 0,79% N<sub>2</sub>.

## 2.5 Kualitas Pencampuran.

Objektif dari pembakaran yang baik ditandai dengan "3-T of good Combustion", yaitu time, temperatur dan turbulensi

1. Waktu persentuhan (*contact time*) yang cukup bagi reaktan untuk saling menyatu dalam kesempurnaan pencampuran udara-bahan bakar
2. Kombinasi dari elemen mampu bakar dan campuran bahan bakar dengan keseluruhan udara pembakaran membutuhkan temperatur yang cukup untuk dapat dilakukan mengignisiasi/mematik unsur pokok reaktan agar dapat timbul nyala api

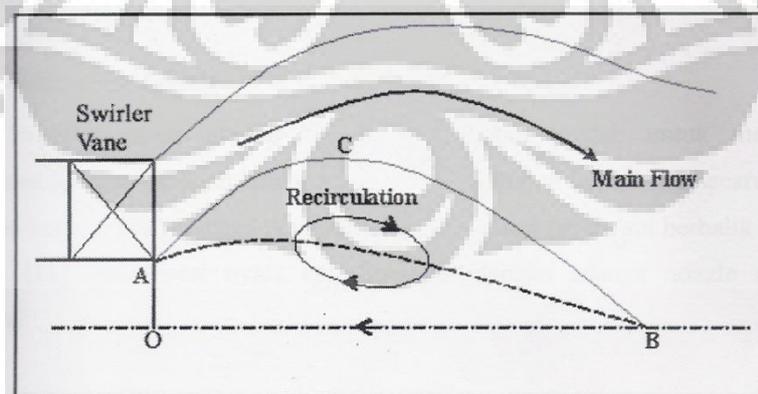
3. Turbulensi untuk menimbulkan kontak yang sempurna antara udara dengan bahan bakar guna menyempurnakan pencampuran udara-bahan bakar sehingga dapat tercapai pembakaran yang lebih baik.

### 2.5.1 Swirl Number.

Aliran *swirl* digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi. Aliran *swirl* diaplikasikan pada burner turbin gas, *cyclone combustor*, *swirl atomizer*, *cyclone separator*, mesin spray pertanian, *heat exchanger*, dan lain-lain. Pada sistem pembakaran, pengaruh kuat pengaplikasian *swirl* pada penginjektian udara dan bahan bakar, digunakan sebagai bantuan untuk stabilisasi dalam proses pembakaran intensitas tinggi dan pembakaran ramah lingkungan pada mesin bensin, mesin diesel turbin gas, tungku pembakaran industri dan berbagai peralatan pemanasan yang praktis

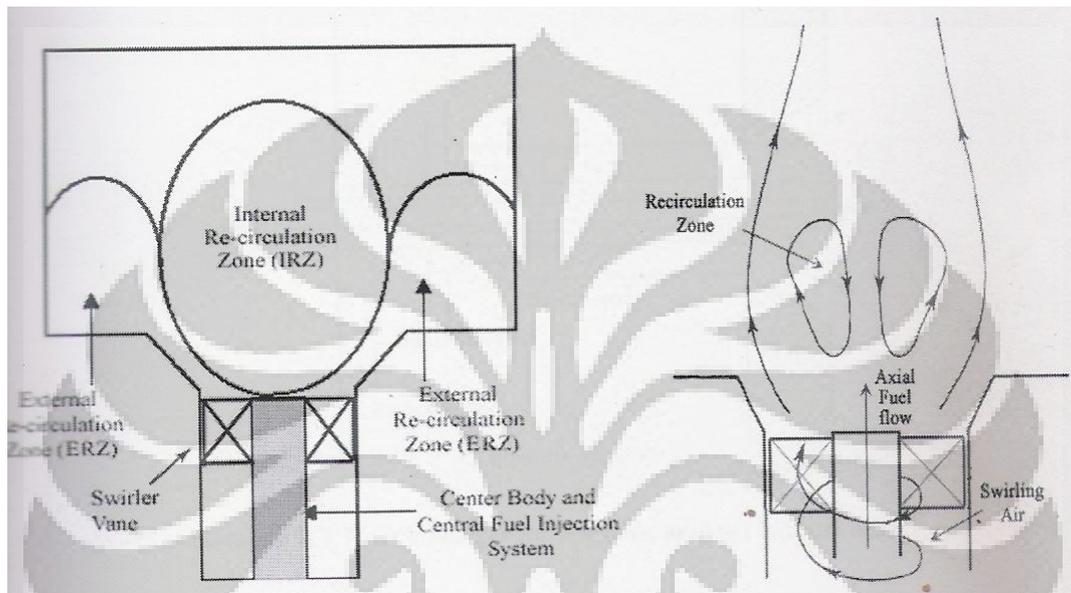
*Swirl burner* dan *cyclone combustor* pada turbin gas dan tungku pembakaran industri memanfaatkan pusaran kuat untuk meningkatkan kecepatan tumbukan (momentum) antara aliran axial dengan tangensial sehingga mempercepat waktu pencampuran bahan-bakar dan udara serta memperpanjang waktu tinggal (residence time)

M N M Jaafar mengemukakan bahwa *swirl* ditimbulkan dari pengaplikasian sebuah pergerakan spiral pada sebuah aliran. Pergerakan spiral ini diperoleh dengan menambahkan aliran tangensial kepada aliran axial. Aplikasi *swirl* tersebut membangkitkan zona resirkulasi internal.<sup>[3]</sup>



Gambar 2-6 Zona Resirkulasi pada Pusaran.<sup>[3]</sup>

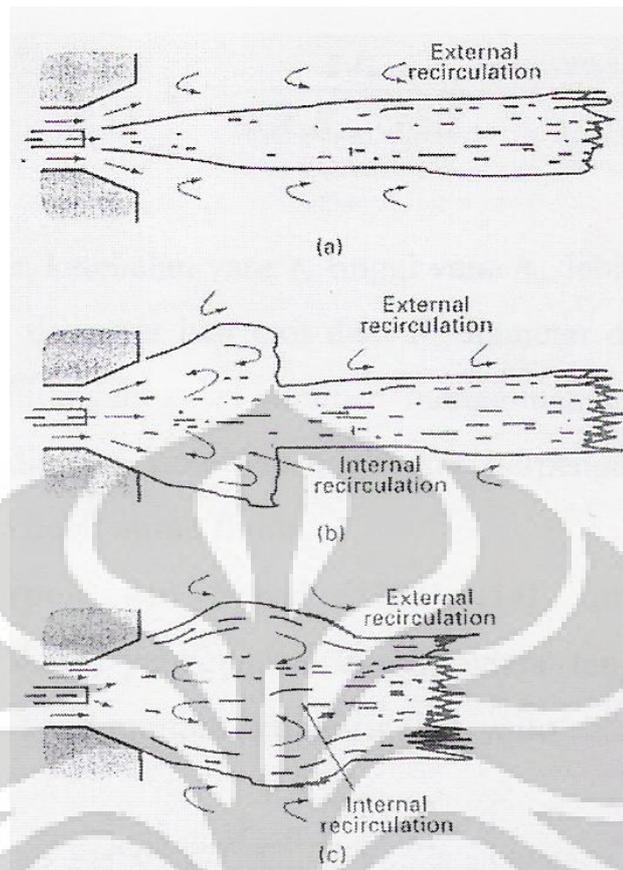
Fungsi dari *swirl* adalah untuk menciptakan zona resirkulasi internal (IRZ). Sedangkan zona resirkulasi eksternal (ERZ) timbul akibat ekspansi geometris dari aliran udara pembakaran. Pada pembakaran non-premixed IRZ berfungsi dalam menyempurnakan pencampuran udara dengan bahan bakar agar pembakaran dapat berjalan sempurna, untuk menstabilkan beberapa fraksi hasil pembakaran, agar terbakar kembali sehingga kadar partikel padat pada exhaust gas dapat dikurangi.



Gambar 2-7 Zona Resirkulasi pada Non-Premixed Swirl Burner. [3]

Semakin besar ukuran suatu burner, akan lebih mudah untuk mengontrol pencampuran udara dengan bahan bakar secara eksternal ketimbang secara internal di dalam burner. Hal ini dapat mengeliminasi *flashback*.

Pada aplikasi industri dan utilitas besar, gas burner secara tipikal menggunakan udara primer dan sekunder. Aliran *swirl*, yang dibangkitkan oleh aliran udara sekunder melewati *swirl vane*, berputar melingkari axil *fuel rod* dan *nozzle*. *Swirl* meresirkulasi produk pembakaran tak sempurna yang bertemperatur tinggi kembali ke akar nyala api. Pencampuran yang baik pada dasarnya mengurangi pembentukan jelaga dan meminimalisir kebutuhan udara berlebih. Zona resirkulasi internal (IRZ) terbentuk oleh gradient radial positif tekanan yang ditimbulkan oleh swirl berkekuatan tinggi. IRZ inilah yang berperan dalam meningkatkan kualitas pencampuran udara-bahan bakar dan kestabilan nyala api.



Gambar 2-8 Api pada Nozzle Mix Burner. a) Long Jet Flame, No Swirl; b.) Kombinasi Jet Flame dan Zona Resirkulasi Internal Parsial, Intermediate Swirl; c.) Zona Resirkulasi Internal, High Swirl

Setelah mengetahui kegunaan dari *swirl*, selanjutnya perlu diketahui apa saja yang mempengaruhi kekuatan dari *swirl* tersebut. Tingkat pusaran atau kekuatan pusaran dapat diindikasikan oleh bilangan pusaran (*swirl number*). *Swirl number* dapat ditinjau dari aliran aksial yang melewati sudut rancangan swirler vane maupun dari aplikasi udara tangensial melalui eksperimen.

Penelitian terdahulu telah mempelajari pengaruh variasi sudut vane, yang akan mengubah *swirl number*, terhadap performa pembakaran yang dihasilkan. Beer dan Chigier (1972) mengemukakan sebuah korelasi antara *swirl number* dan dimensi burner serta dimensi *swirl vane*, dalam sebuah persamaan :

$$S = \frac{\sigma R}{2w_v} \left[ 1 - \left( \frac{R_h}{R} \right)^2 \right]$$

Dengan:

$$\sigma = \frac{\tan \alpha}{(1 - \psi) \left[ 1 - \tan \alpha \tan \left( \frac{\pi}{z} \right) \right]}$$

$$\psi = \frac{z \cdot t_v}{2\pi R_{av} \cdot \cos \alpha}$$

$$R_{av} = R + \frac{1}{2} w_v = \frac{1}{2} (d + w_v)$$

Dengan

$z$  = jumlah vane

$t_v$  = ketebalan vane

$w_v$  = lebar vane

$R_{av}$  = jarak burner axis dengan vane

$R$  = diameter luar duct

$R_h$  = diameter dalam duct

$S$  = swirl number

Perhitungan swirl number menggunakan persamaan ini hanya berdasarkan variable dimensi vane dan tidak berpengaruh dari variabel bergerak seperti debit aliran fluida.

Menurut Claypole dan Syred (1981), untuk konfigurasi yang menghasilkan swirl akibat penggunaan injeksi udara tengensial, swirl number dikarakterisasi dengan swirl geometris ( $S_g$ )

$$S_g = \frac{R_q \pi r_t \left[ \frac{\dot{m}_t}{\dot{m}_{total}} \right]^2}{A_t}$$

Dengan  $A_t = \pi r^2$  (inlet berbentuk pipa silinder)

$$S_g = \frac{R_q}{r_t} \left[ \frac{\dot{m}_t}{\dot{m}_{total}} \right]^2$$

dengan

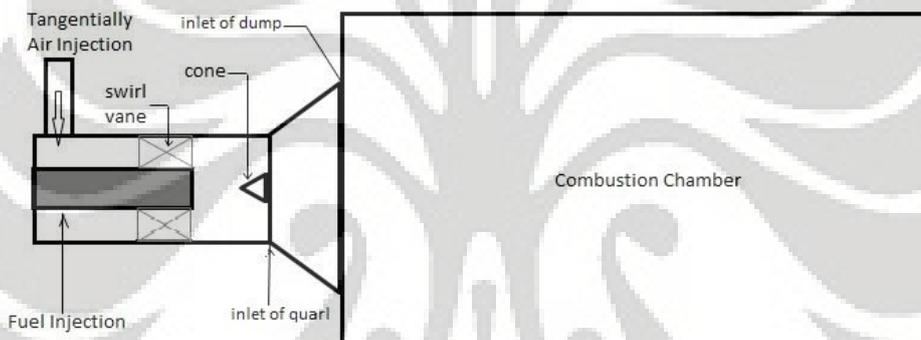
$R_q$  = radius inlet quarl

$r_t$  = radius inlet tangensial

$A_t$  = luas total area tangensial

$\dot{m}_t$  = flowrate massa udara tangensial

$\dot{m}_{total}$  = flowrate massa total quarl



Gambar 2-9 Skematik Non-Premixed Swirl Burner, Quarl, dan Combustion Chamber.<sup>[1]</sup>

Aliran pusaran diklasifikasikan atas dua kategori menurut besarnya nilai swirl number,  $S$ . Aliran pusaran lemah, dimana memiliki range swirl number  $S \leq 0,4$ , diaplikasikan *swirl jet* untuk meningkatkan sudut pancaran, tingkat entertainment dan pengurangan tingkat laju aksial. Pada swirl lemah tidak menciptakan zona resirkulasi internal, hanya zona resirkulasi eksternal akibat ekspansi udara swirl. Aliran swirl dengan swirl number  $0,4 \leq S \leq 0,6$  mulai timbul IRZ yang tidak besar. Aliran pusaran kuat, yang memiliki range swirl number  $S \geq 0,6$  sangat efektif diaplikasikan pada sistem yang menggunakan aliran kecepatan tinggi untuk mengontrol intensitas ukuran dan bentuk nyala api. Aliran swirl kuat dapat membangkitkan IRZ yang besar

Efek *swirl* terhadap pembentukan emisi polutan. Claypole dan Syred meneliti pengaruh pembentukan emisi  $NO_x$ . Dalam penelitiannya divariasikan swirl number dengan range

0,63-3,04 menggunakan gas nature methane. Pada swirl number 3,04 terdapat banyak  $\text{NO}_x$  dalam gas buang yang tersirkulasi menuju flame. Jumlah emisi total  $\text{NO}_x$ , yang dapat berpengaruh terhadap pengurangan efisiensi pembakaran, dapat dikurangi dengan signifikan.

Untuk memecahkan permasalahan ini, sebuah rancangan burner yang mencegah daerah kaya bahan bakar dengan mengembangkan percampuran cepat antara bahan bakar-udara pada posisi dekat dengan outlet burner.

## 2.6 Teknik Komputasi.<sup>[4] [5]</sup>

Simulasi yang dilakukan di sini, dilakukan dengan menggunakan bantuan dari 3 jenis software yang berbeda, yaitu Solidworks untuk melakukan CAD, dan juga Gambit serta Fluent untuk CFD. Solidworks digunakan untuk melakukan menggambar berbagai kebutuhan gambar 3D yang akan dipakai pada simulasi berikutnya. Benda yang digambar pada Solidworks antara lain adalah gas burner dan domain. Sedangkan Gambit digunakan untuk melakukan meshing dan juga memberikan identitas pada setiap face yang terdapat pada gas burner dan domain. Selain itu, Gambit juga digunakan untuk melakukan meshing. Fluent digunakan untuk melakukan perhitungan mengenai apa yang terjadi pada gas burner.

Pada pembakaran non-*premixed*, bahan bakar dan udara memasuki zona reaksi pada aliran tertentu. Di dalam melakukan simulasi non-*premixed* coldflow dalam software fluent ada beberapa skema yang dapat dipakai, species transport dan PDF (Probability Density Function). Namun dalam simulasi ini akan digunakan skema species transport.

Fluent dapat memodelkan species transport dengan atau tanpa reaksi kimia. Reaksi kimia yang dapat dimodelkan diantaranya

1. Reaksi fase gas yang melibatkan  $\text{NO}_x$  dan formasi polutan lainnya.
2. Reaksi permukaan (misal deposisi uap kimia) yang mana reaksi ini muncul di batas solid (wall)
3. Reaksi permukaan partikel (misal pembakaran coal char) yang mana reaksi muncul di permukaan partikel yang telah terdiskritisasi.

Fluent dapat memodelkan percampuran dan transport species kimia dengan menyelesaikan persamaan konservasi yang mendeskripsikan konveksi, difusi dan reaksi sumber untuk setiap komponen species yang ada. Dalam species transport fluent

memprediksi fraksi massa untuk setiap species Y melalui persamaan konveksi-difusi untuk setiap i species. Persamaan adalah

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

Dimana  $R_i$  adalah produksi species i oleh reaksi kimia dan  $S_i$  adalah adalah kreasi/ penambahan dari fase tertentu.



## BAB 3

### PEMODELAN.

#### 3.1 Pemodelan.

Simulasi yang dilakukan pada percobaan kali ini, dilakukan berdasarkan beberapa tahap, yaitu:

1. Pembentukan model 3D dari Burner, Domain, dan detail komponen pada burner dengan menggunakan software Solidworks.
2. Meshing model tersebut dan melakukan identifikasi *boundary* pada sistem dengan menggunakan software Gambit.
3. Melakukan iterasi atau perhitungan dengan menggunakan software Fluent agar didapatkan hasil simulasi seperti yang diinginkan.

Pemodelan dengan menggunakan fluent ini bertujuan untuk melihat pengaruh kecepatan injeksi udara tangensial terhadap perubahan kecepatan partikel, tekanan, dan turbulensi. Hasil dari pemodelan ini diharapkan menjadi tuntunan untuk menghasilkan simulasi pembakaran yang sempurna.

Ada beberapa parameter yang diasumsikan berdasarkan percobaan di lapangan dalam pemodelan tersebut, yaitu:

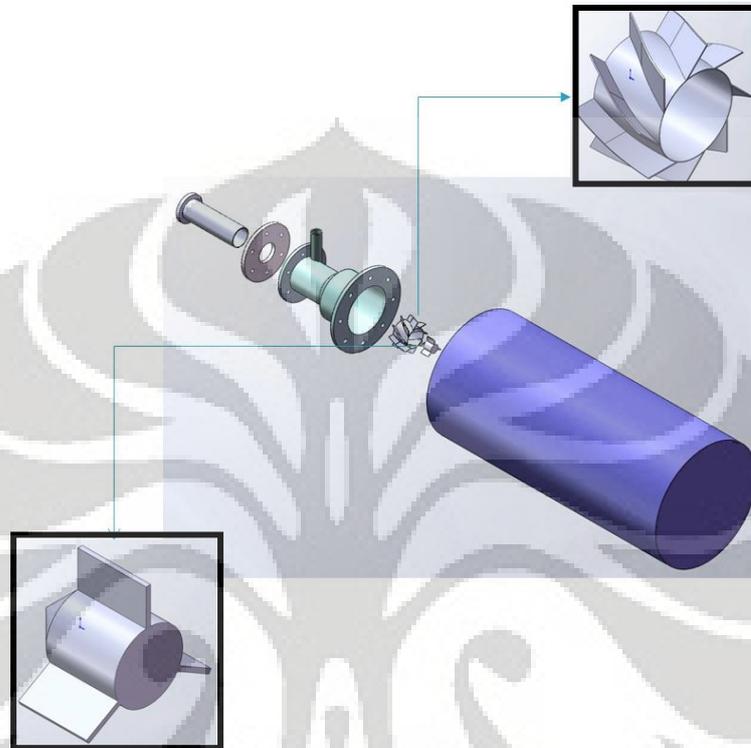
1. Komposisi fraksi massa gas pada syngas.
  - a. O<sub>2</sub> = 1,22 %
  - b. CO = 15,19 %
  - c. H<sub>2</sub> = 5,45 %
  - d. CH<sub>4</sub> = 3,09 %
  - e. CO<sub>2</sub> = 13 %
  - f. N<sub>2</sub> = 57,97 %
2. Kecepatan dari syngas sebesar 5 m/s
3. Kecepatan injeksi udara tangensial 9,7 m/s
4. Temperatur syngas sebesar 200° C atau 473,15 K dan temperatur udara tangensial sebesar 27° C atau 300,15 K.

Dengan mengasumsikan nilai-nilai di atas diharapkan simulasi yang akan dijalankan mendekati keadaan sebenarnya sehingga hasil simulasi yang dilakukan dapat digunakan. Pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan software juga dapat digunakan sebagai acuan untuk mengoptimalkan desain gas burner.

Pada pemodelan dengan menggunakan software ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yakni pada komposisi gas yang ada. Karena pada simulasi ini akan dilakukan analisis aliran panas (*hotflow*) dengan menggunakan reaksi *volumetric*.

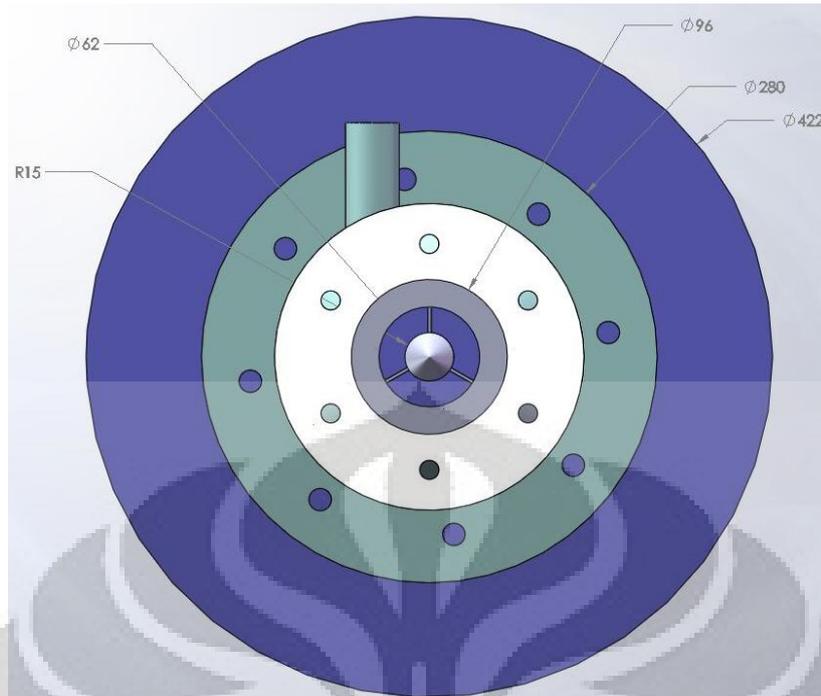
### 3.2 Desain Gas Burner.

Pembuatan model gas burner mengikuti desain yang telah ada di laboratorium gasifikasi DTM-FTUI. Keseluruhan system gas burner tersebut, terdiri dari gas burner itu sendiri dan juga domain sebagai *Combustion Chamber*.

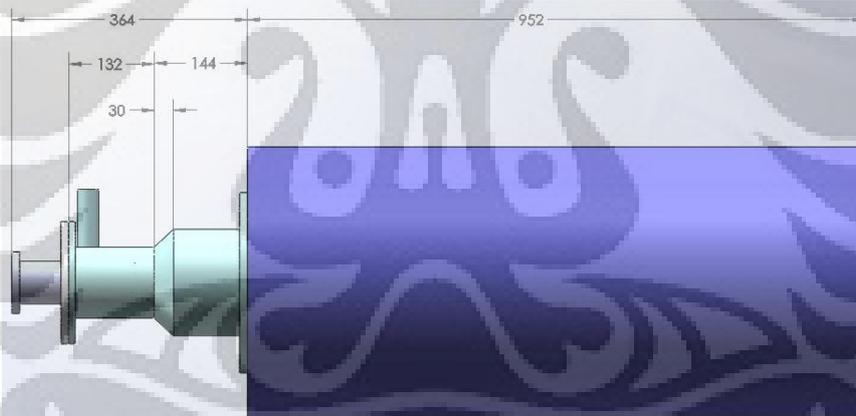


Gambar 3-1 Sistem Gas Burner

Sistem memiliki dimensi terluar dengan panjang 1316 mm dan diameter terluar sebesar 422 mm.



Gambar 3-2 Sistem Gas Burner Tampak Samping.

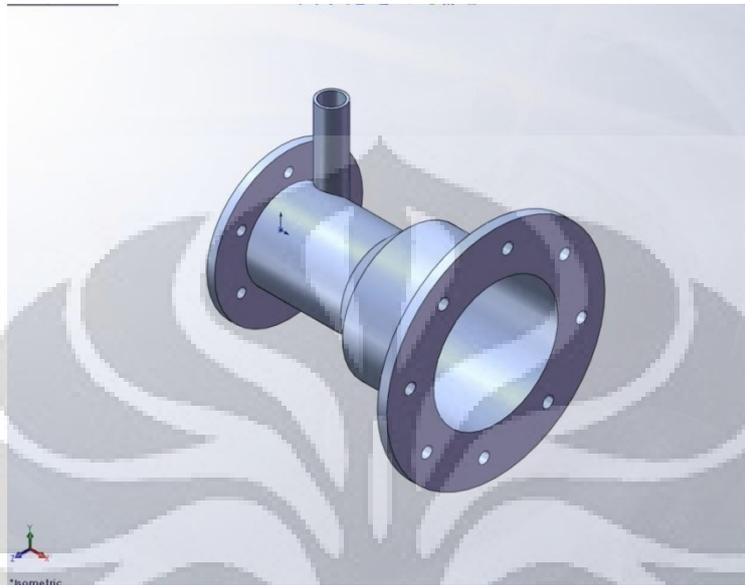


Gambar 3-3 Sistem Gas Burner Tampak Depan.

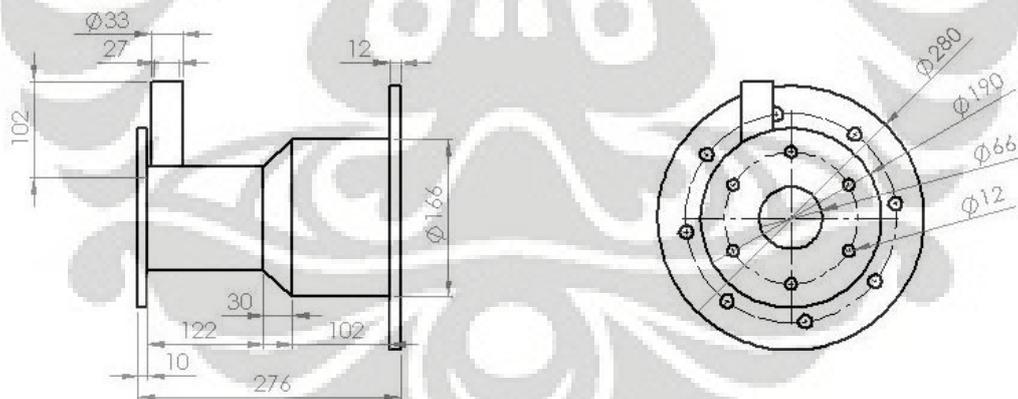
Sistem gas burner tersebut, memiliki beberapa komponen penting lainnya seperti konis, swirl, dan silinder inlet bahan bakar. Masing-masing komponen memiliki fungsi yang penting pada proses yang terdapat di dalam gas burner.

### 3.2.1 Gas Burner.

Gas burner pada system tersebut memiliki dimensi terluar dengan panjang 276 mm dan diameter terluarnya 280 mm. Gas burner tersebut memiliki fungsi sebagai ruang untuk bercampurnya antara *syngas* dengan oksidator atau injeksi udara tangensial.



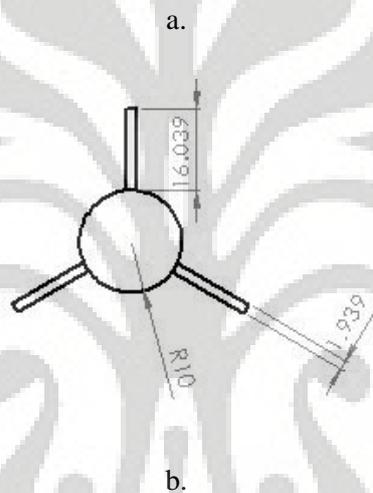
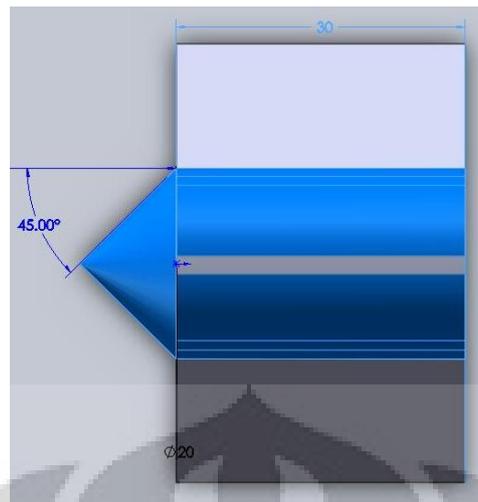
Gambar 3-4 Pemodelan Gas Burner dengan Software Solidwoks



Gambar 3-5 Dimensi Gas Burner

### 3.2.2 Konis.

Konis merupakan suatu benda kerucut yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran dari campuran *syngas* dengan udara.



Gambar 3-6 a. Pemodelan Konis b. Dimensi Konis

### 3.2.3 Swirl.

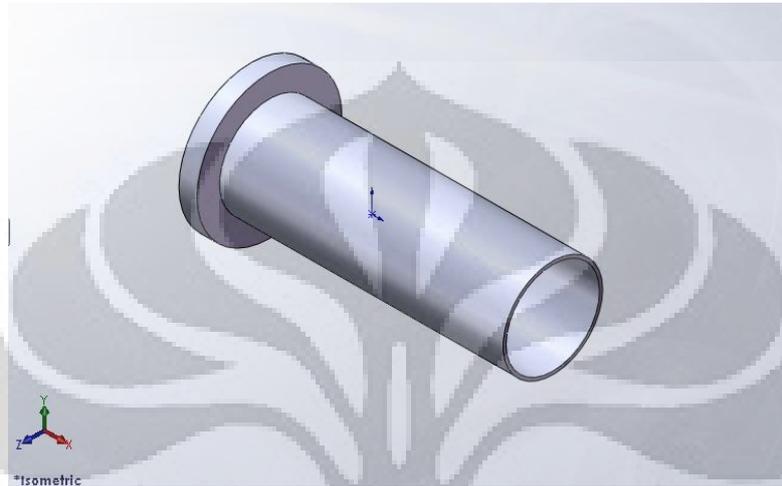
Swirl berfungsi untuk membelokkan arah aliran injeksi udara tangensial agar aliran tersebut menjadi turbulensi. Swirl pada gas burner tersebut memiliki sudut  $30^\circ$  terhadap garis sumbu swirl itu sendiri. Swirl tersebut memiliki dimensi terluar dengan lebar 60 mm dan diameter 56 mm. Swirl number pada swirl yang akan dianalisa ada 6 blade, 8 blade, dan 10 blade.



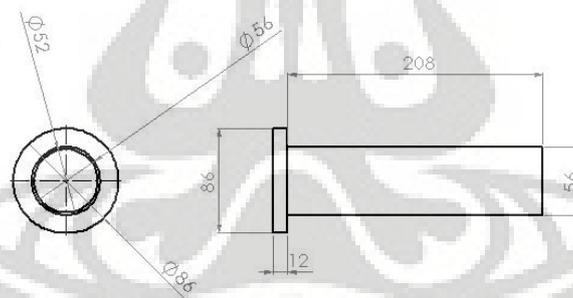


### 3.2.4 Inlet Bahan Bakar.

Silinder inlet bahan bakar ini memiliki fungsi untuk mengarahkan aliran gas hasil gasifikasi (*syngas*) menuju area percampuran udara dan bahan bakar di dalam burner. Inlet bahan bakar tersebut memiliki dimensi terluar dengan panjang 200 mm dan diameter 86 mm.

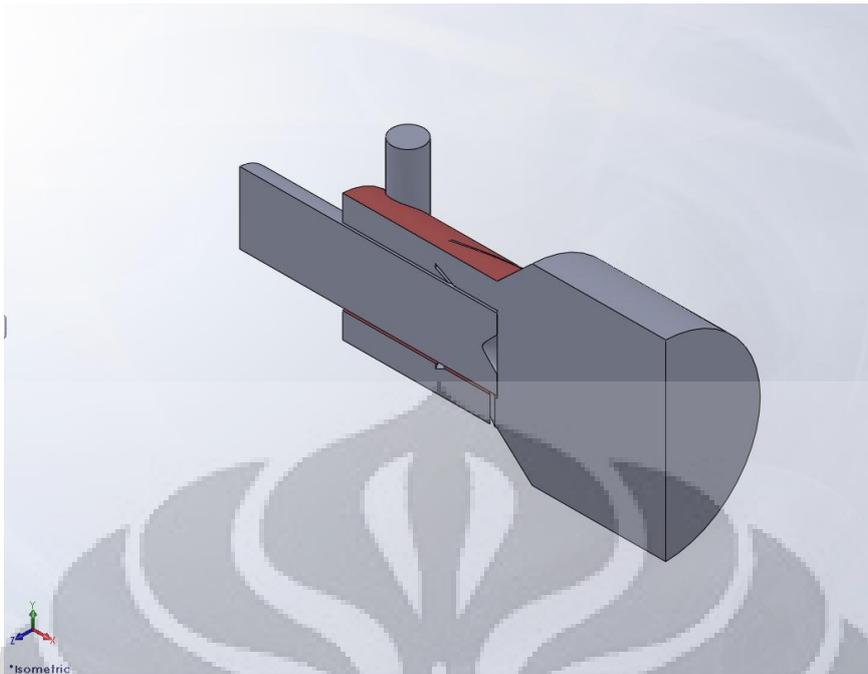


Gambar 3-13 Pemodelan Inlet Bahan Bakar



Gambar 3-14 Dimensi Inlet Bahan Bakar

Untuk dapat dilakukan meshing pada Gambit, bentuk burner yang dibentuk harus ditukar antara ruang kosong dengan bagian yang *solid*. Oleh karena hal tersebut, maka dibentuklah gambar solidworks di atas dengan berbagai macam penyederhanaan, menjadi seperti gambar 3.16 di bawah ini. Setelah itu file kemudian disimpan dengan format file *\*.step*.



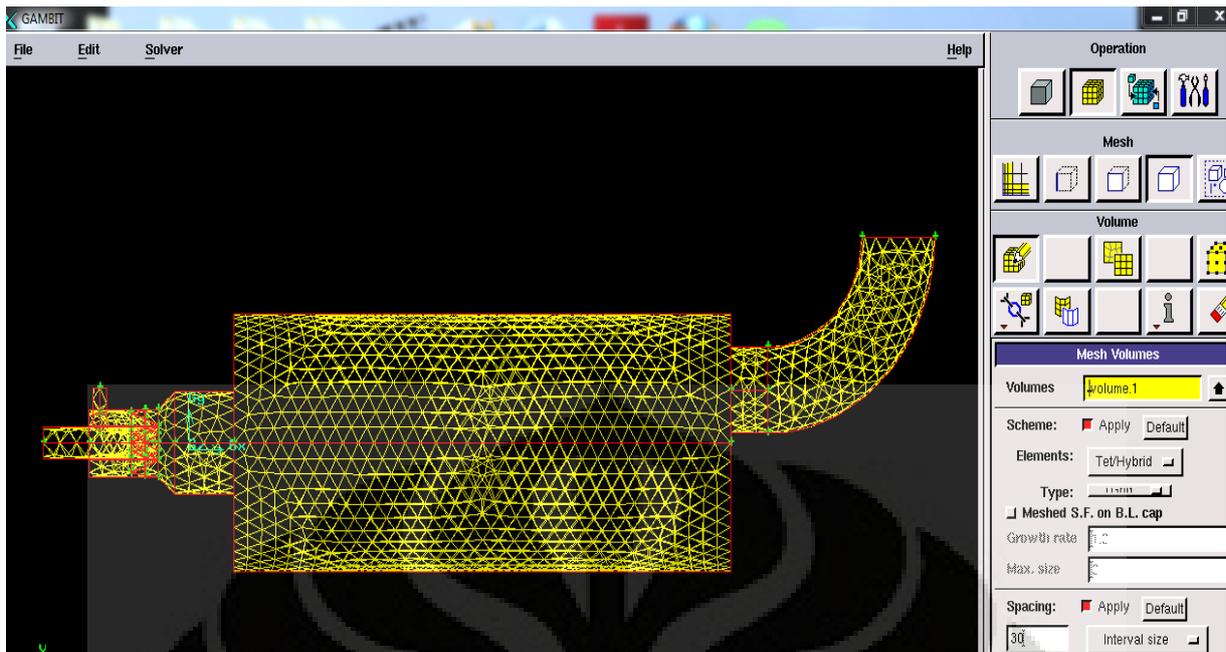
Gambar 3-15 Penyederhanaan Model Gas Burner

### 3.3 Mesh dan Boundary.<sup>[6]</sup>

Langkah berikutnya setelah dilakukan pemodelan dengan menggunakan Solidworks, adalah melakukan mesh dan juga meng-identifikasi *boundary* pada model yang sudah dibentuk pada Solidworks tersebut. Proses meshing dan identifikasi dilakukan dengan menggunakan software Gambit.

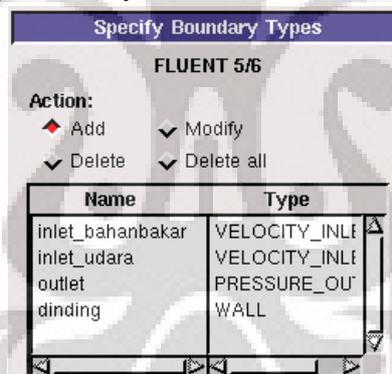
Pada proses ini, *meshing* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Meng-import file dari Solidworks dalam bentuk file \*.step ke dalam Gambit.
2. Melakukan meshing volume dengan element mesh “*tet/hybrid*” dengan type *TGrid* dan *interval size* sebesar 30.



Gambar 3-16 Hasil Meshing dengan Interval Size 30 dan Gambar Jendela untuk Meshing

- Setelah melakukan meshing, langkah berikutnya adalah dengan melakukan identifikasi terhadap boundary.



Gambar 3-17 Identifikasi Boundary Condition.

- Langkah terakhir pada software gambit ini adalah dengan meng-export gambar tersebut dalam bentuk file \*.msh, agar file tersebut mampu dibaca oleh software Fluent.

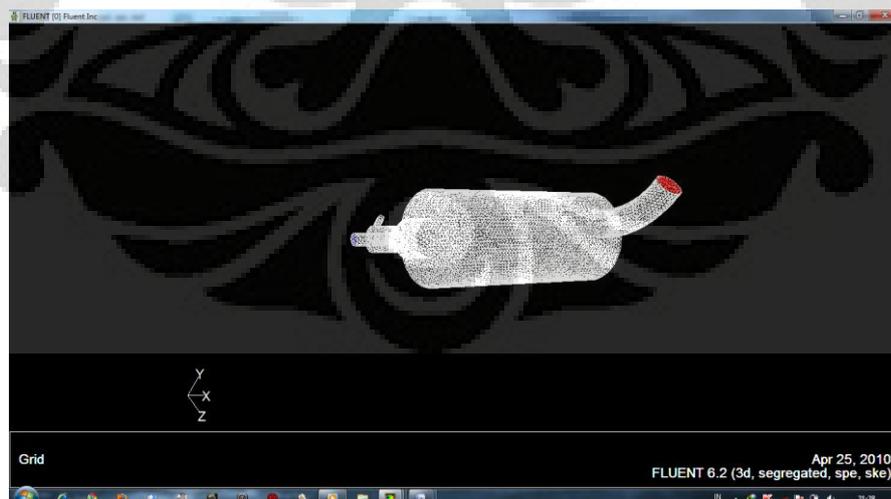
### 3.4 Langkah-Langkah Permodelan.<sup>[6]</sup>

Langkah-langkah dalam permodelan menggunakan software fluent antara lain :

- Memasukkan grid geometri file yang akan kita modelkan dengan ekstensi file \*.msh ke dalam Fluent, dilakukan dengan cara **File → Read → Case**. Kemudian setelah langkah tersebut dijalankan, akan muncul laporan yang menunjukkan bangun burner yang telah di-diskritkan melalui metode meshing sebagai berikut :
 

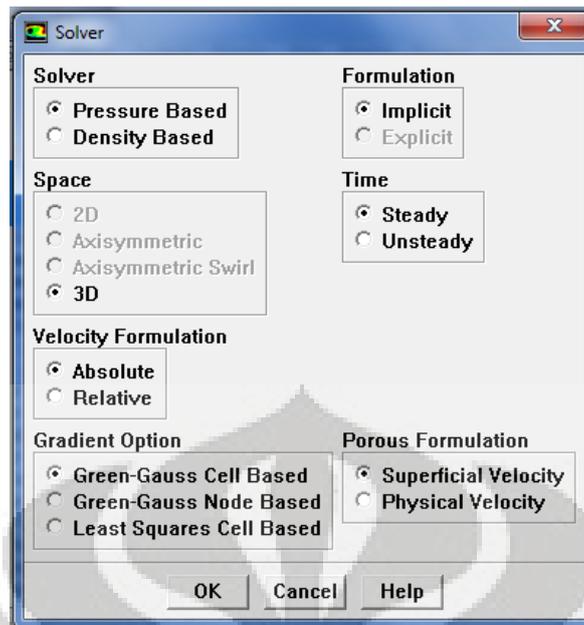
```
> Reading "C:\Users\langgariawan\Desktop\gambar skripsi anggar\file fluent\burner swirl 6
16042010.cas"...
130314 tetrahedral cells, zone 2, binary.
14098 triangular wall faces, zone 3, binary.
100 triangular outflow faces, zone 4, binary.
2 triangular velocity-inlet faces, zone 5, binary.
18 triangular velocity-inlet faces, zone 6, binary.
253519 triangular interior faces, zone 8, binary.
25405 nodes, binary.
25405 node flags, binary.
```
- Mengkoreksi ulang grid yang sudah dibentuk dengan langkah **grid → check** untuk memeriksa tidak adanya nilai minimum dalam volume sehingga tidak terjadi error seperti yang tertera di bawah ini.
 

```
Volume statistics:
minimum volume (m3): 4.465888e+000
maximum volume (m3): 3.541951e+003
total volume (m3): 1.443636e+008
```
- Menampilkan grid dengan cara **Display → Grid** sehingga akan muncul tampilan seperti di bawah ini.



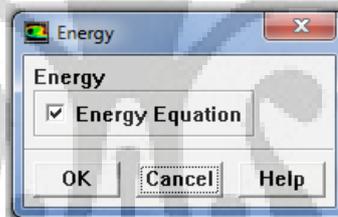
Gambar 3-18 Grid Gas Burner.

- Mendefinisikan parameter apa saja yang akan dimasukkan dalam memodelkan burner tersebut seperti solver, tipe viscositynya, persamaan energinya dan lain sebagainya.
  - Mendefinisikan jenis solver yang digunakan **Define>Models>Solver**.



Gambar 3-19 Jendela untuk Mendefinisikan Solver yang Digunakan

4.2 Mengaktifkan perpindahan panas untuk mengaktifkan persamaan energi.  
**Define>Models>Energi.**



Gambar 3-20 Jendela untuk Mengaktifkan Persamaan Energi.

Persamaan energy yang digunakan pada model *Non-Premixed Combustion* yaitu :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot \left( \frac{k_t}{c_p} \nabla H \right) + S_h$$

Fluent memecahkan masalah total entalpi dari persamaan energy diatas, berdasarkan asumsi Lewis Number ( $Le$ ) = 1, dengan total entalpi didefinisikan sebagai

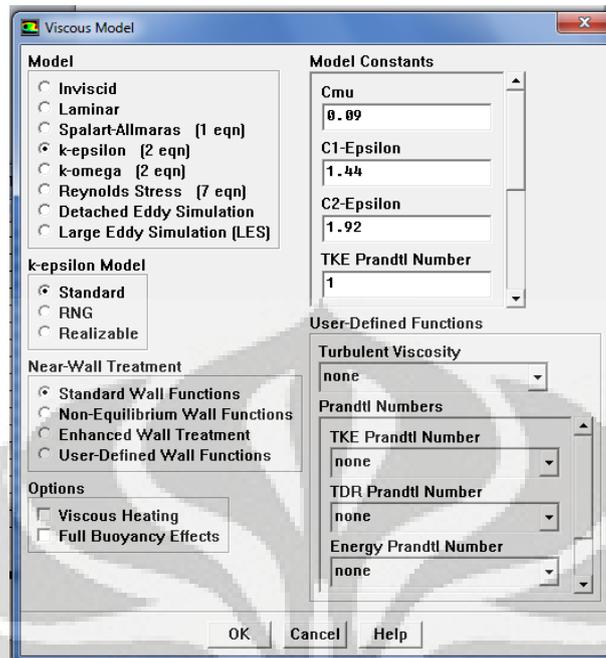
$$H = \sum_j Y_j H_j$$

Dengan  $Y_j$  adalah fraksi massa pada spesies  $j$  dan

$$H_j = \int_{T_{ref,j}}^T c_{p,j} dT + h_j^0(T_{ref,j})$$

Dengan  $h_j^0(T_{ref,j})$  adalah pembentukan entalpi dari  $j$  pada temperature  $T_{ref,j}$ .

### 4.3 Mengaktifkan model turbulensi $k-\epsilon$ **Define>Models>Viscous**



Gambar 3-21 Jendela untuk Mengaktifkan Model Turbulensi

Persamaan yang digunakan pada *viscous model* dengan RNG k-epsilon Model adalah [15]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k$$

Dan

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon$$

Dengan  $G_k$  adalah hasil dari turbulent kinetic energy yang berarti nilai rata-rata gradient kecepatan yang dikalkulasikan dengan

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

Untuk mengevaluasi  $G_k$  yang konstan dengan Boussinesq hypothesis,

$$G_k = \mu_t S^2$$

Dengan  $S$  adalah modulus rata-rata dari strain tensor, yang didefinisikan dengan

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

Dan  $G_b$  adalah hasil dari turbulent kinetic energy yang berarti buoyancy yang dikalkulasikan dengan

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

Dengan  $Pr_t$  adalah Turbulent Prantl Number untuk energy dan  $g_i$  adalah komponen dari vector gravitasi dari arah  $i$ . Pada RNG k-epsilon model,  $Pr_t = 1/\alpha$ . Dan koefisien dari Thermal Expansion,  $\beta$ , didefinisikan sebagai

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

Untuk gas ideal,

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho Pr_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$$

Dan  $Y_m$  adalah hasil dari dilatasi fluktuasi dari tubulensi yang dapat dimampatkan pada disipasi nilai yang menghilang, yang dapat dikalkulasikan pada

$$Y_m = 2\rho \epsilon M_t^2$$

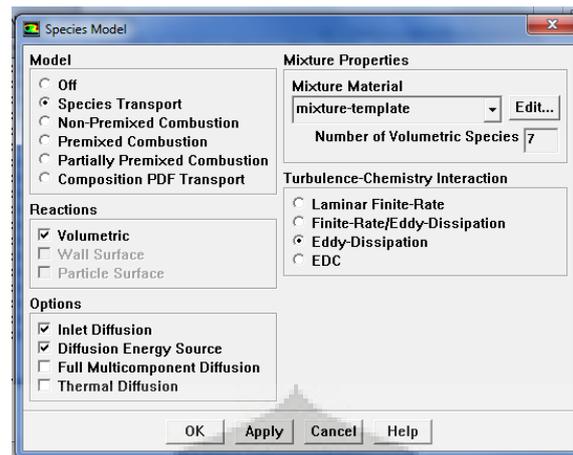
Dengan  $M_t$  adalah *Turbulent Mach Number*, didefinisikan sebagai

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}}$$

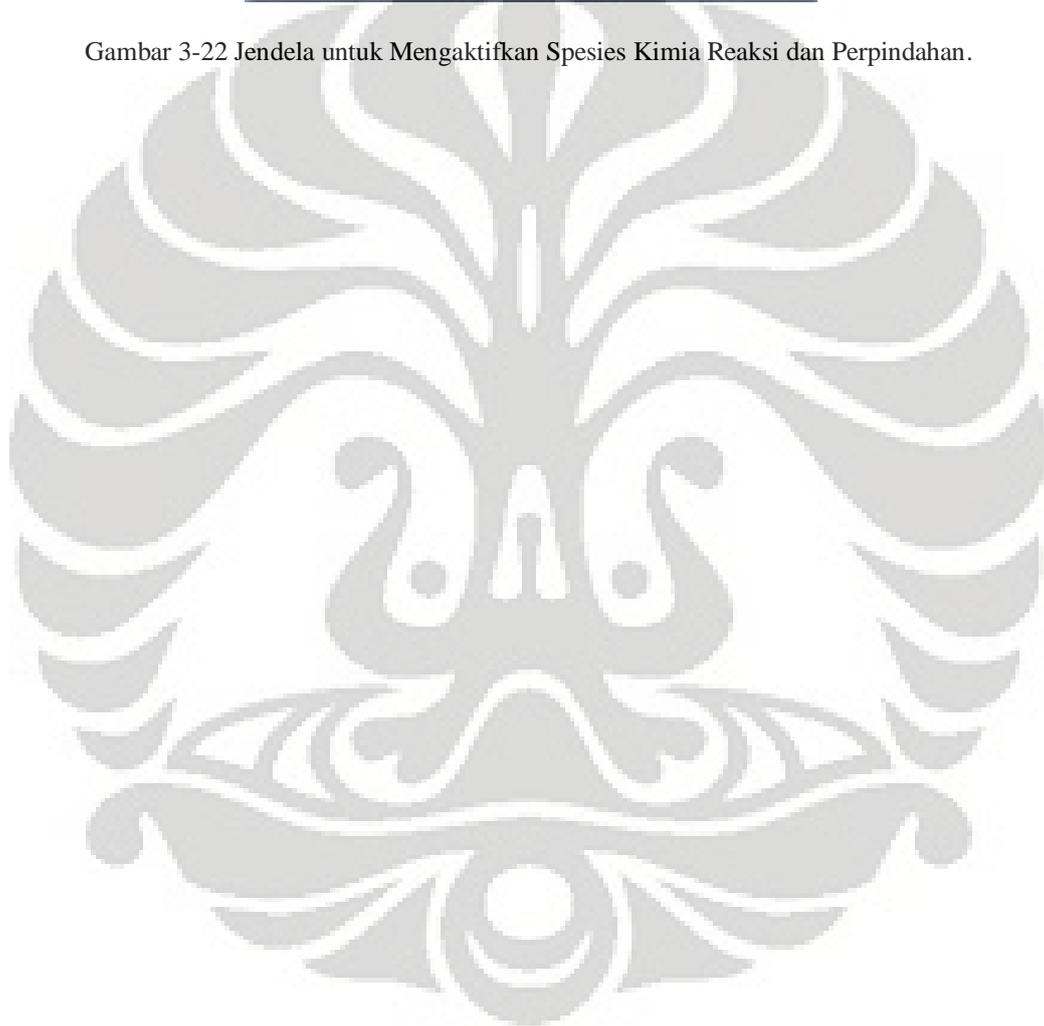
Dengan  $a \equiv \sqrt{\gamma RT}$

Dan  $C_2$  dan  $C_1$  adalah konstan.  $\sigma_k$  dan  $\sigma_\epsilon$  adalah turbulent Prantl Number untuk  $k$  dan  $\epsilon$ , berturut-turut.

#### 4.4 Mengaktifkan spesies kimia reaksi dan perpindahan **Define>Models>Species>Transport & Reaction.**

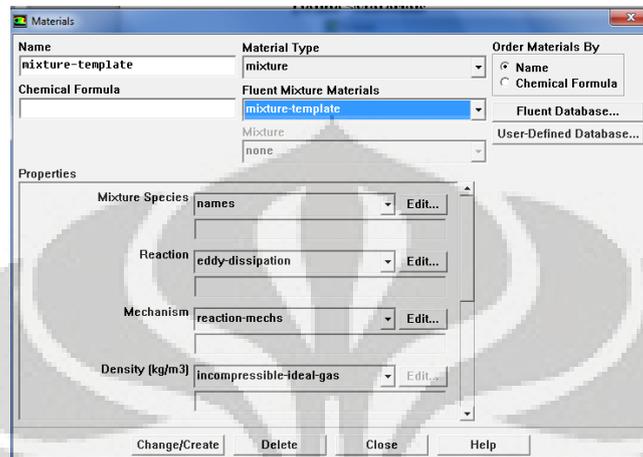


Gambar 3-22 Jendela untuk Mengaktifkan Spesies Kimia Reaksi dan Perpindahan.



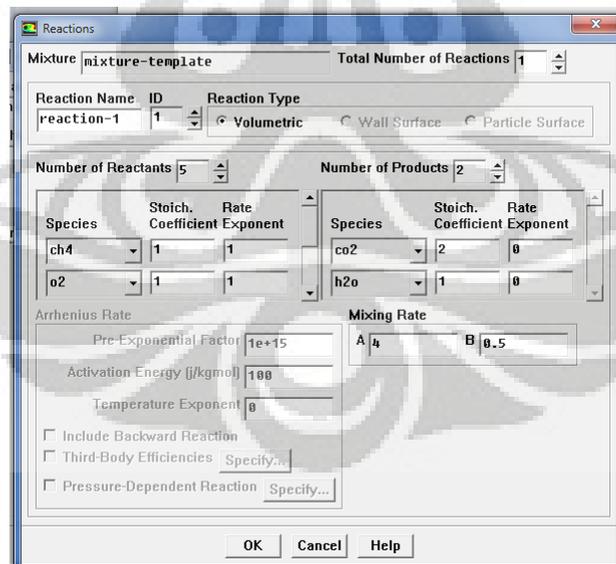
4.5 Untuk men-definisikan material atau reaksi percampuran yang terjadi di dalam burner dilakukan dengan langkah berikut ini:

### Define → Materials



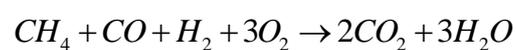
Gambar 3-23 Jendela untuk Mendefinisikan Material dan Reaksi

Kemudian reaksi yang terjadi dimasukkan ke dalam fluent dengan cara memilih **edit** dari **reaction** kemudian akan ditampilkan jendela untuk memasukkan reaksi seperti gambar di bawah ini:

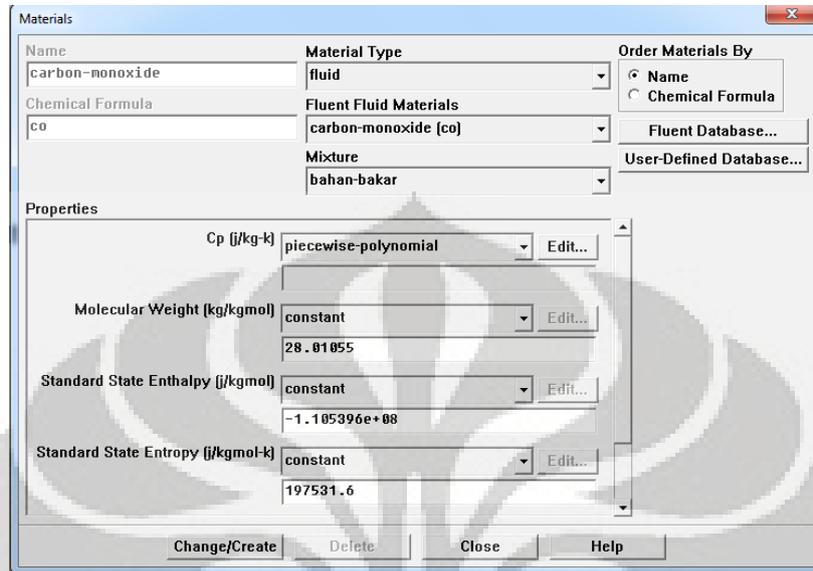


Gambar 3-24 Jendela untuk Memasukkan Reaksi yang Ada

Reaksi yang dimasukkan adalah berupa reaksi stokiometrik sebagai berikut:



Setelah menentukan reaksi kemudian kembali ke panel material, dan define material dengan nama bahan bakar. Ubah sifat material dari mixture ke fluid kemudian untuk setiap material ubah nilai Cp dari *constant* menjadi *pieceswiese polynomial*.



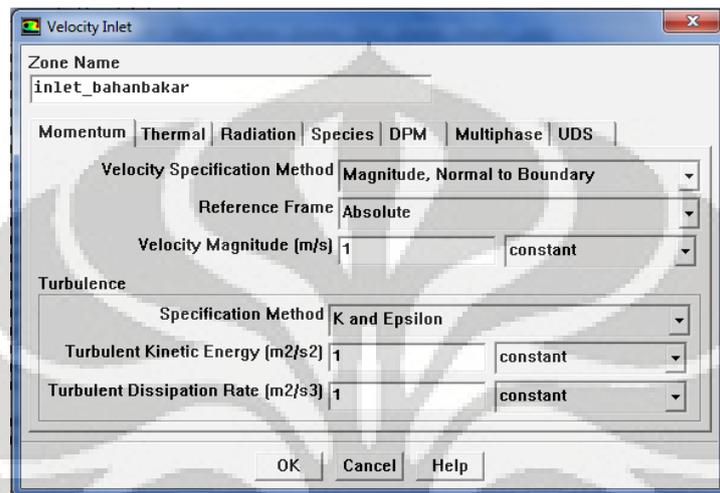
Gambar 3-25 Jendela untuk Mengaktifkan Material

#### 4.6 Boundary condition.

Langkah berikutnya adalah mendefinisikan beberapa parameter ke system tersebut dengan langkah sebagai berikut :

#### Define>Boundary Condition

1. Inlet bahan bakar:



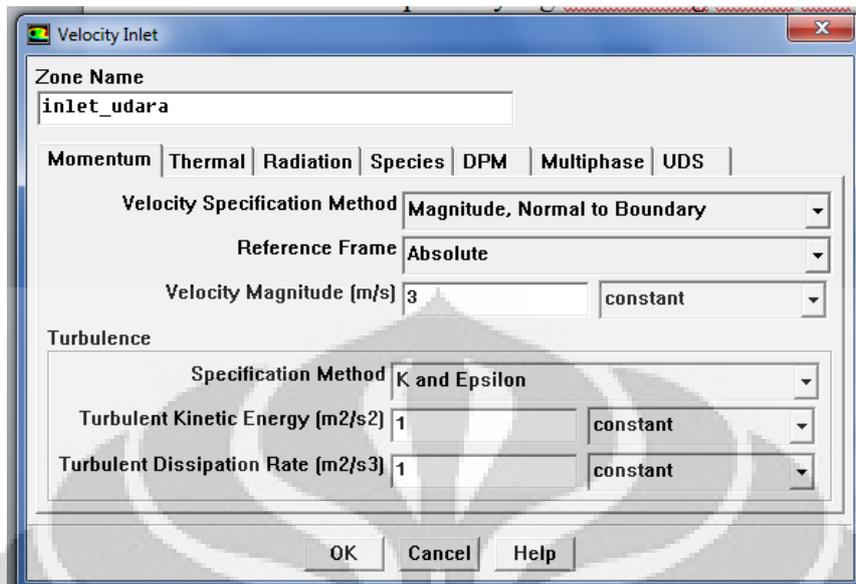
Gambar 3-26 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Bahan Bakar

Untuk spesiesnya maka masukkan fraksi massa dari biomassa (batok kelapa) yaitu :

CH <sub>4</sub>	= 3,09 %
H <sub>2</sub>	= 5,45 %
CO	= 15,19 %
CO <sub>2</sub>	= 13 %
N <sub>2</sub>	= 57,97 %
O <sub>2</sub>	= 1,22 %

Dengan temperatur bahan bakar masuk adalah 200<sup>0</sup> C atau 473,15 K dengan kecepatannya adalah 5 m/s.

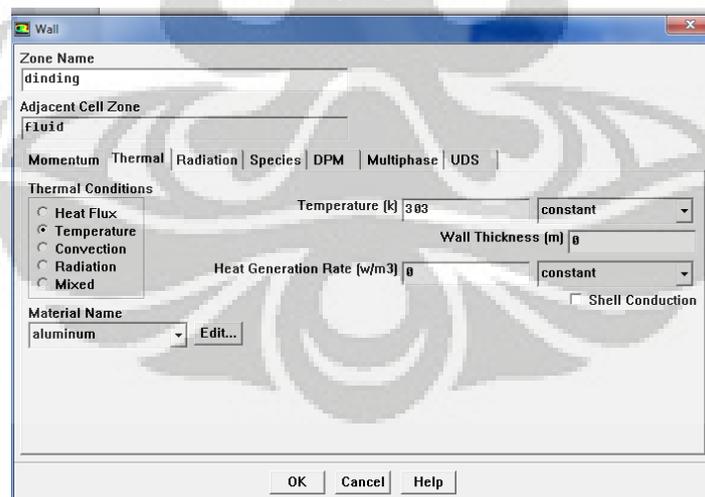
## 1. Inlet udara:



Gambar 3-27 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Udara

Disini kita masukkan fraksi massa dari udara yang terdiri dari 22% oksigen dan 78% nitrogen dengan kecepatan masuknya adalah 9,7 m/s dan temperatur ruangan ( $27^{\circ}\text{C}$  atau 300,15 K ).

## 2. Dinding

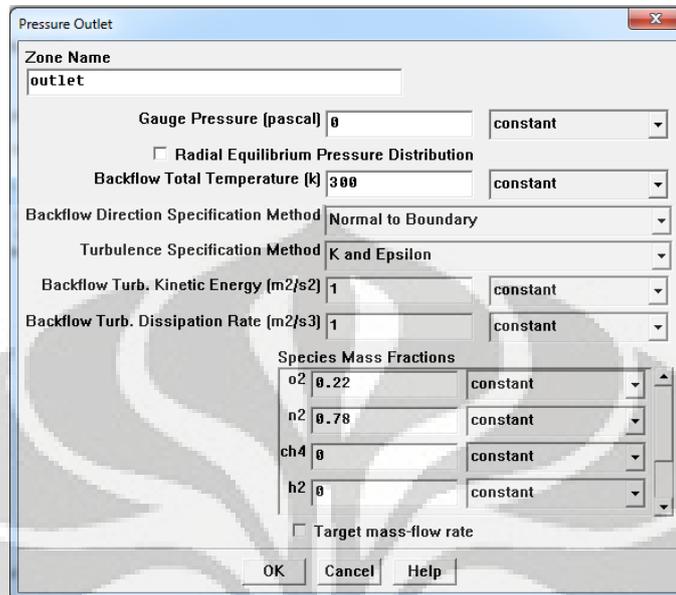


Gambar 3-28 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Dinding

Pada panel wall didefinisikan dinding luar memiliki temperatur 300,15 K.

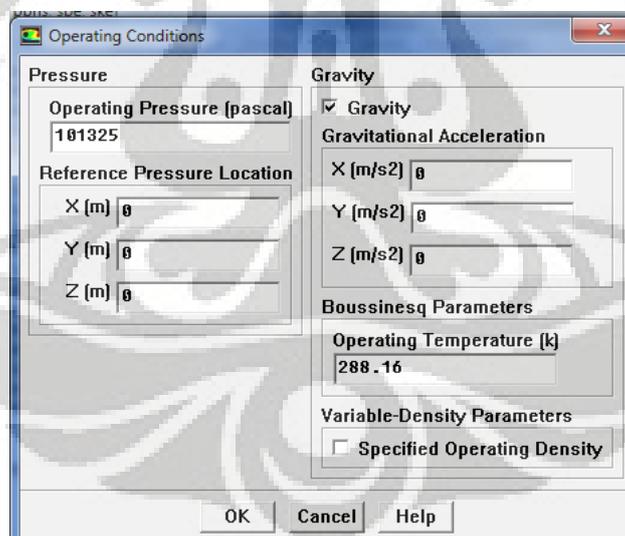
### 3. Outlet

Pada panel outlet, kita definisikan kondisi batasnya adalah dengan *pressure outlet* dan fraksi massa yang ditulis adalah sama dengan fraksi massa outlet udara.



Gambar 3-29 Jendela untuk Pemilihan Outlet.

### 4.7 Operating condition.



Gambar 3-30 Jendela untuk Mengaktifkan Parameter Kondisi Kerja dengan Gaya Gravitasi.

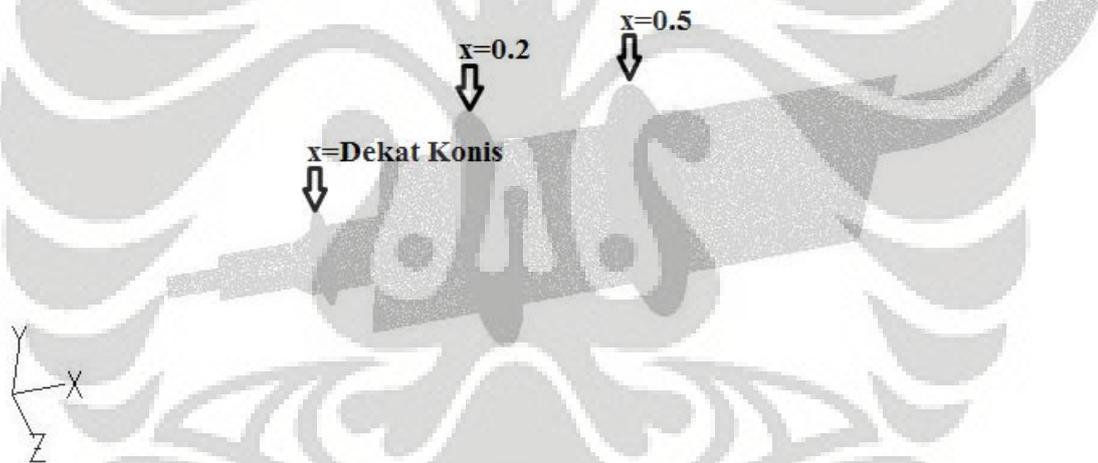
Kondisi operasi merupakan kondisi dimana domain tersebut bekerja. Nilai yang bisa dimasukkan/dirubah adalah tekanan yang terjadi selama operasi, dan letak referensi tekanan operasi tersebut.

## BAB 4

### HASIL dan ANALISA.

Melalui beberapa kali proses simulasi pada gas burner dengan diameter inlet masuk bahan bakar yang telah diperkecil dan variasi jumlah blade pada swirl dan dengan parameter-parameter seperti disebutkan dalam bab sebelumnya, maka didapatkan hasil beberapa bentuk kontur dari kecepatan, temperatur, tekanan dan yang lainnya yang terjadi dalam proses pembakaran gas burner.

Dalam laporan ini akan ditampilkan hasil beberapa kontur antara lain adalah kontur temperatur, energi kinetik turbulen, kadar gas buang dan hasil pembakaran pada sistem yang sejajar dengan *plane outlet (plane x-y)* yang berjarak  $z$ . Beberapa plane yang akan dilihat distribusinya adalah pada plane  $x=0,05$ ,  $x=0,2$  dan  $x=0,5$  yang akan dipotong melintang pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  nya serta plane tengah yang berpotongan sejajar dengan sumbu  $y$ .

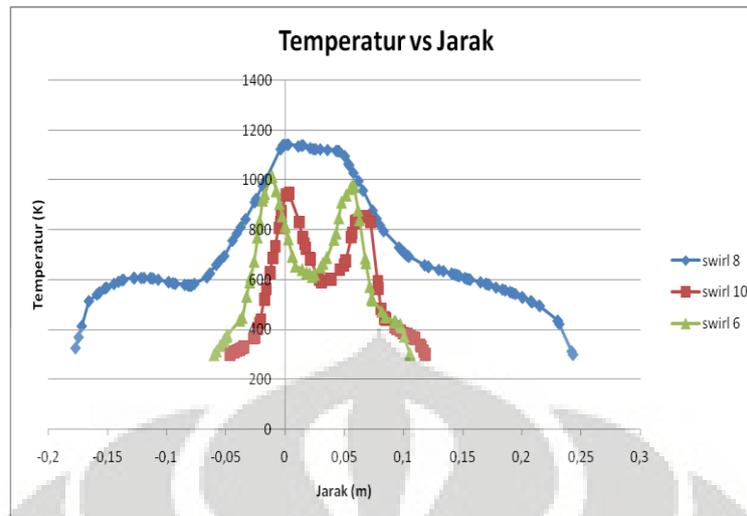


Gambar 4-10 Beberapa Plane yang Akan Dilihat Hasilnya.

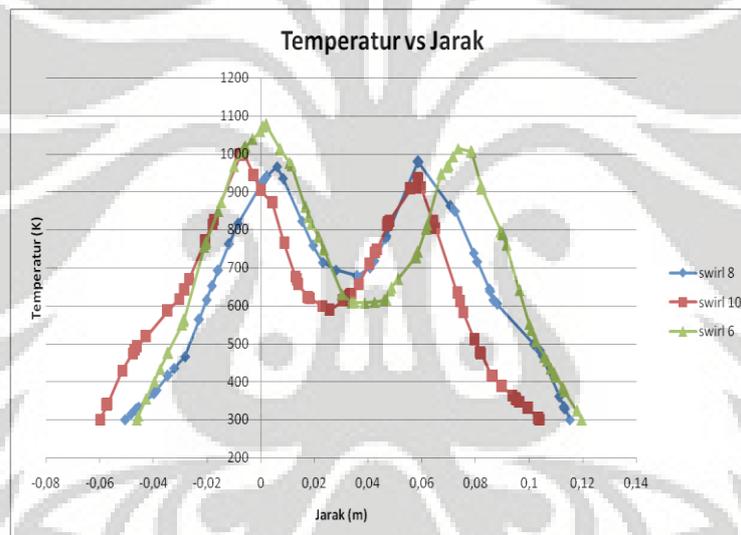
#### 4. 1 Plane $x = 0,05$

Beberapa macam kontur yang akan ditampilkan grafiknya adalah kontur temperatur, kontur energi kinetik, dan kontur gas-gas yang terlibat dalam reaksi pembakaran dalam gas burner seperti oksigen ( $O_2$ ), Carbon Dioksida ( $CO_2$ ), Carbon Monoksida ( $CO$ ), dan uap air ( $H_2O$ ). Dari kontur tersebut nantinya akan kita potong untuk mengetahui distribusi pada sumbu  $z$  dan  $y$  dari bidang tersebut.

➤ Temperatur.



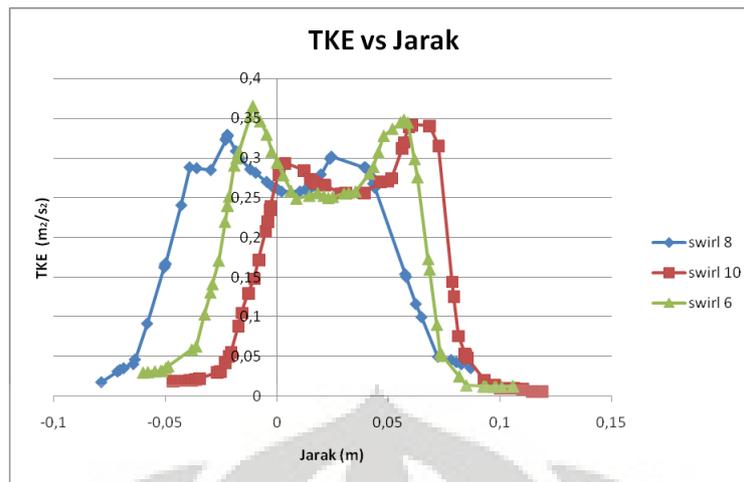
Grafik 4-1 Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



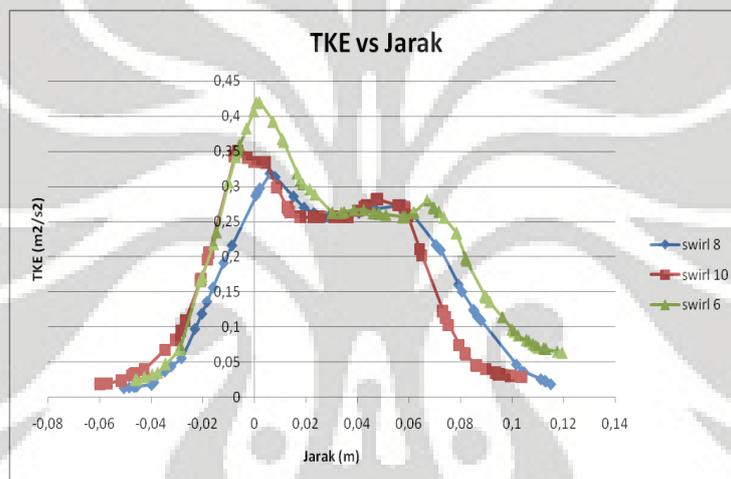
Grafik 4-2 Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Dari hasil grafik yang ditampilkan diatas, terlihat bahwa temperatur yang ditunjukkan oleh masing-masing jenis swirl hampir sama dan tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hal ini dapat disebabkan karena plane berada hanya beberapa centimeter dari konis sehingga flame yang terbentukpun mempunyai rataan kontur temperatur yang sama. Hanya saja pada swirl 8 mempunyai temperatur yang lebih tinggi daripada kedua swirl yang lain.

➤ Energi Kinetik Turbulen.



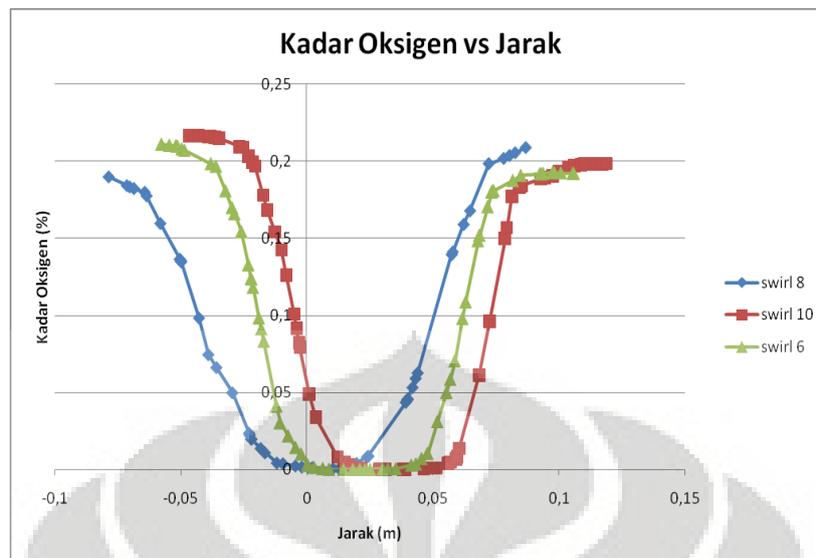
Grafik 4-3. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



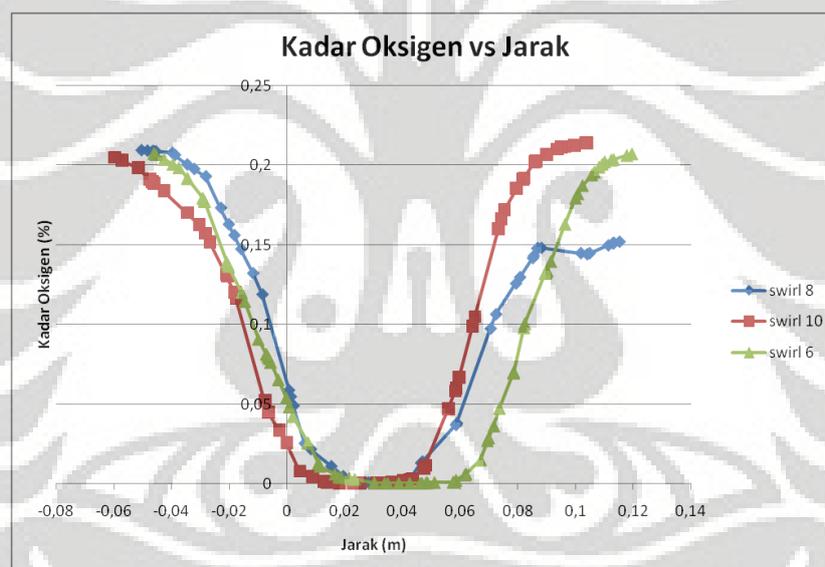
Grafik 4-4. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Dari gambar diatas terlihat baik itu perpotongan melalui sumbu  $z$  ataupun sumbu  $y$  didapatkan hasil bahwa turbulen kinetik energi mempunyai rataaan yang hampir sama untuk ketiga jenis gas burner yang ada, hal ini kemungkinan terjadi karena plane yang diambil di depan konis sehingga turbulensi yang terbentuk belum begitu besar.

➤ Oksigen.



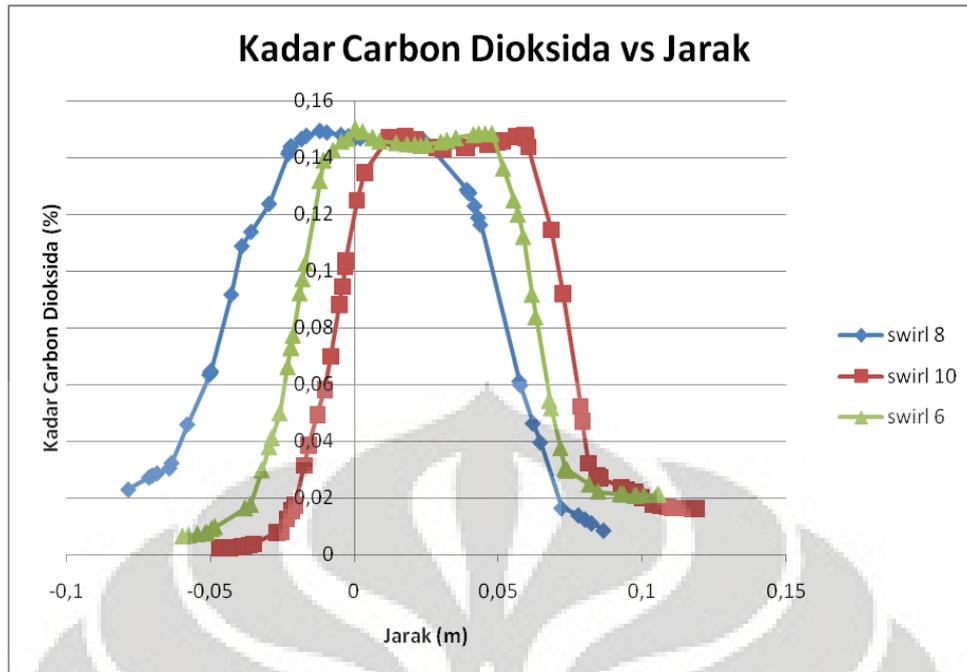
Grafik 4-5. Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



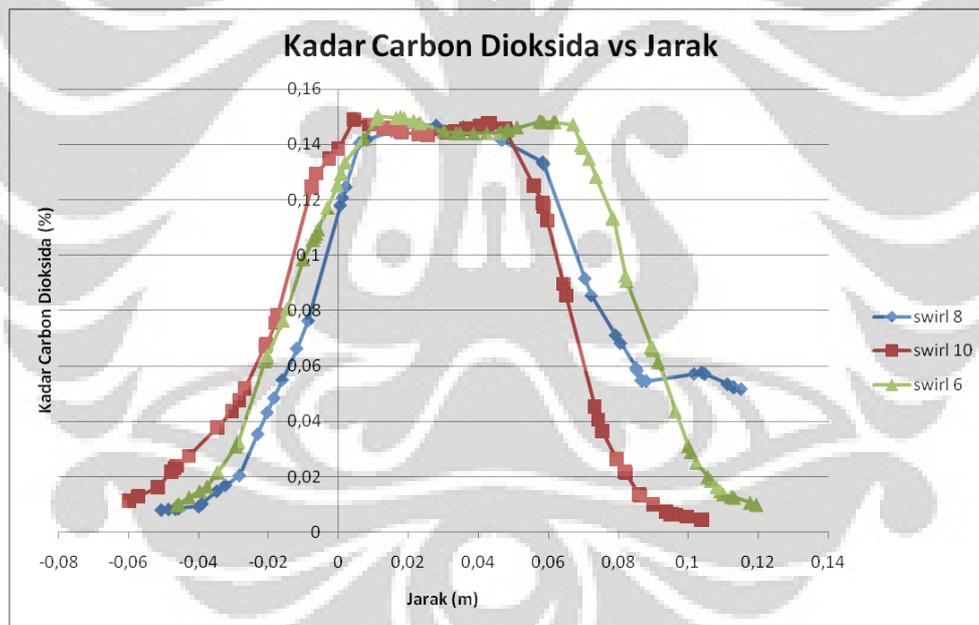
Grafik 4-6. Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Hasil yang tidak jauh berbeda ditunjukkan oleh kedua grafik diatas, hal ini menunjukkan bahwa komposisi gas oksigen akan menurun drastis pada daerah tengah dari plane tersebut. Hal ini dapat dikarenakan adanya reaksi pembakaran antara oksigen dengan *combustible gas* yang menghasilkan api, sehingga oksigen akan bereaksi habis yang menyebabkan kontur grafiknya seperti terlihat di atas.

➤ Carbon Dioksida.



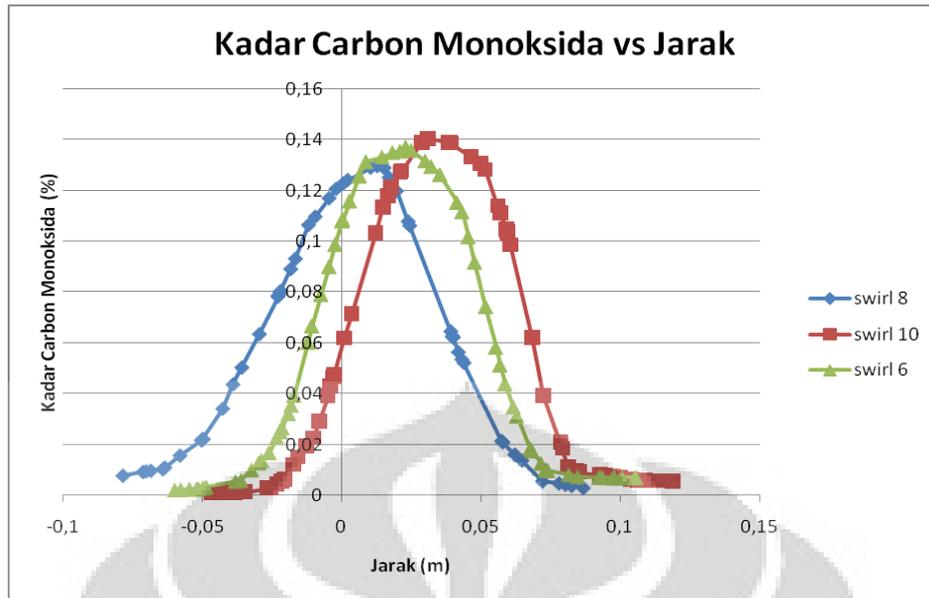
Grafik 4-7. Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



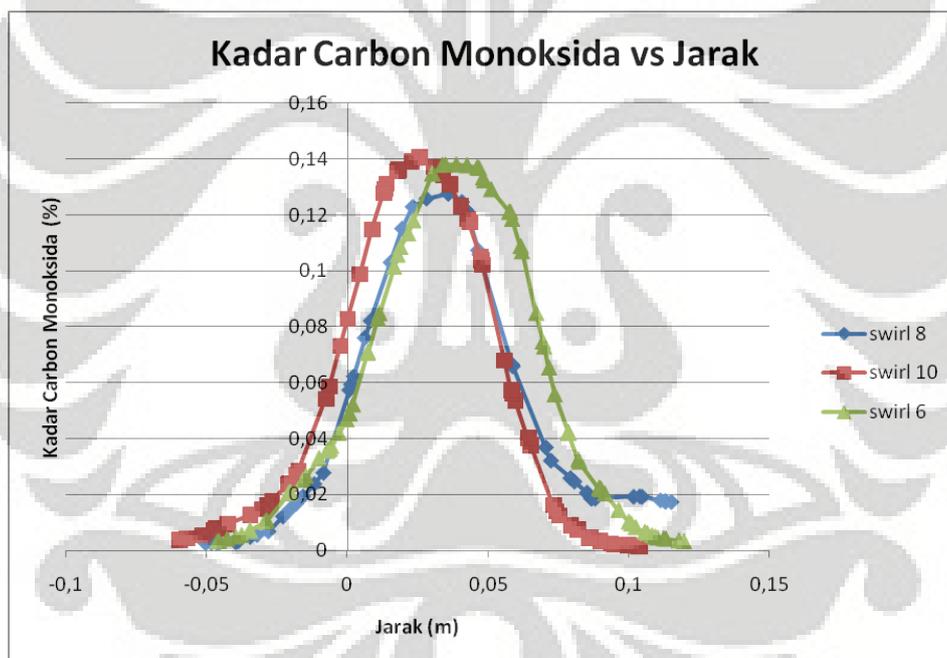
Grafik 4-8. Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Komposisi Carbon Dioksida yang terdapat pada plane ini sama-sama mengalami peningkatan yang drastis di daerah tengah dari plane, hal ini disebabkan karena adanya pembakaran antara *combustible gas* dengan oksigen yang akan menghasilkan Carbon Monoksida sehingga pada daerah tengah dari plane akan dipenuhi dengan gas tersebut.

➤ Carbon Monoksida.



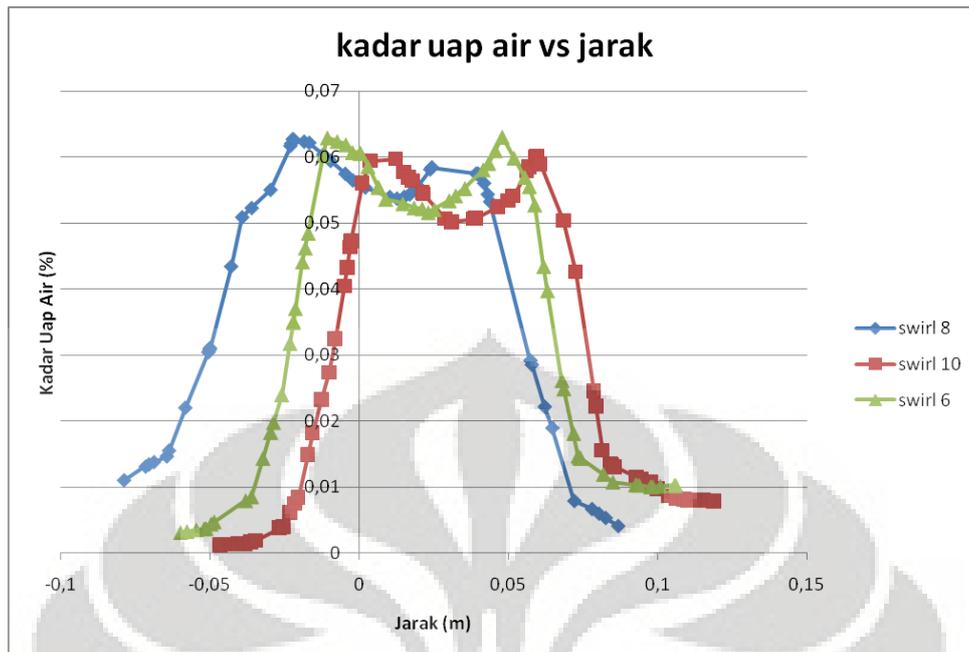
Grafik 4-9. Fraksi Massa Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



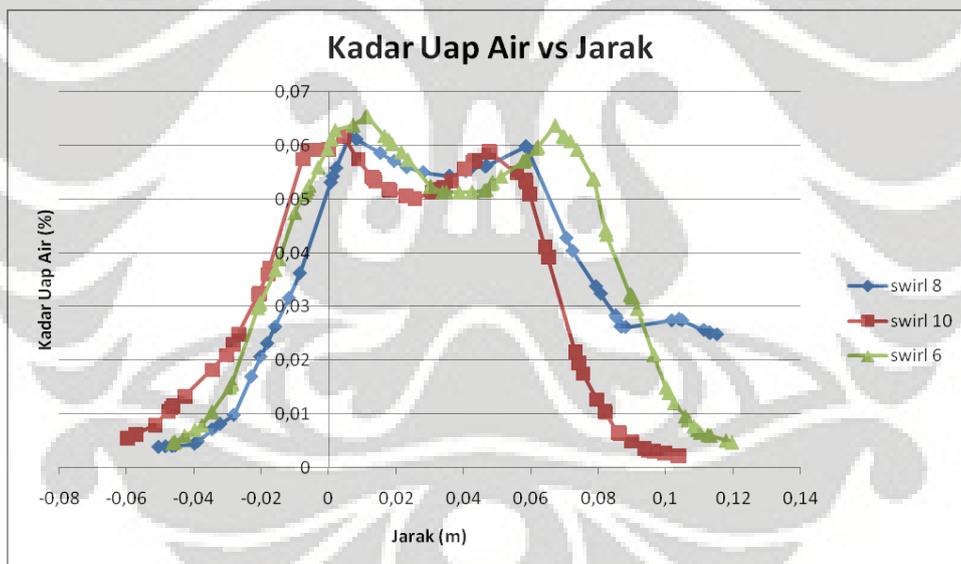
Grafik 4-10. Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Produksi gas Carbon Monoksida di plane ini masih cukup tinggi, hal ini dapat dikarenakan gas tersebut masih dalam tahap fully develop dengan udara untuk menghasilkan nyala api pada flame ini sehingga kadarnya masih terbilang tinggi untuk masing-masing jenis gas burner dengan jumlah blade swirl yang berbeda, selain itu pembakaran yang tidak sempurna di awal gas burner antara *combustible gas* dengan oksigen juga mempunyai andil yang cukup besar dalam komposisi gas tersebut.

➤ Uap Air.



Grafik 4-11. Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $z$ .



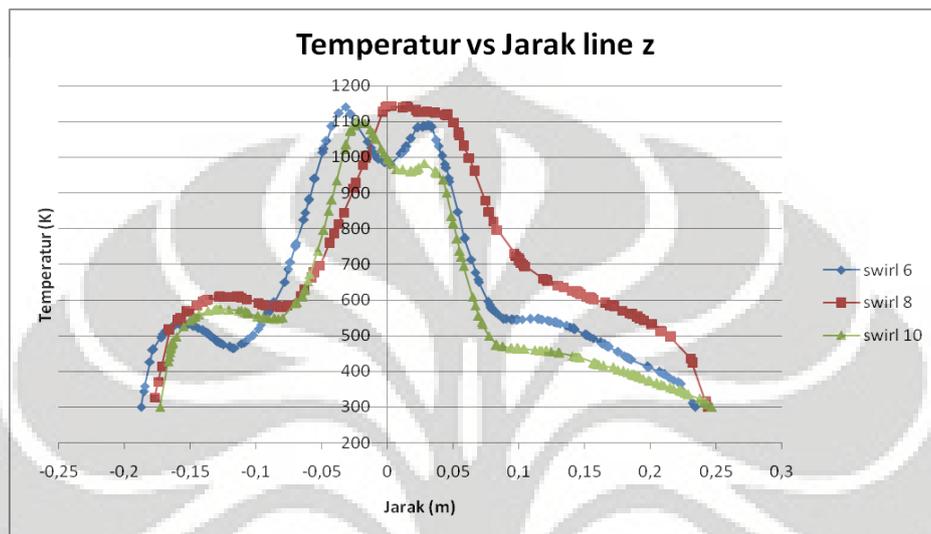
Grafik 4-12. Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,05$  line  $y$ .

Kadar uap air pada plane ini juga terbilang tinggi untuk ketiga jenis swirl ini, karena kadar uap air akan berbanding lurus dengan kadar gas Carbon Dioksida yang keduanya merupakan gas sisa hasil pembakaran antara *Combustible gas* dengan oksigen.

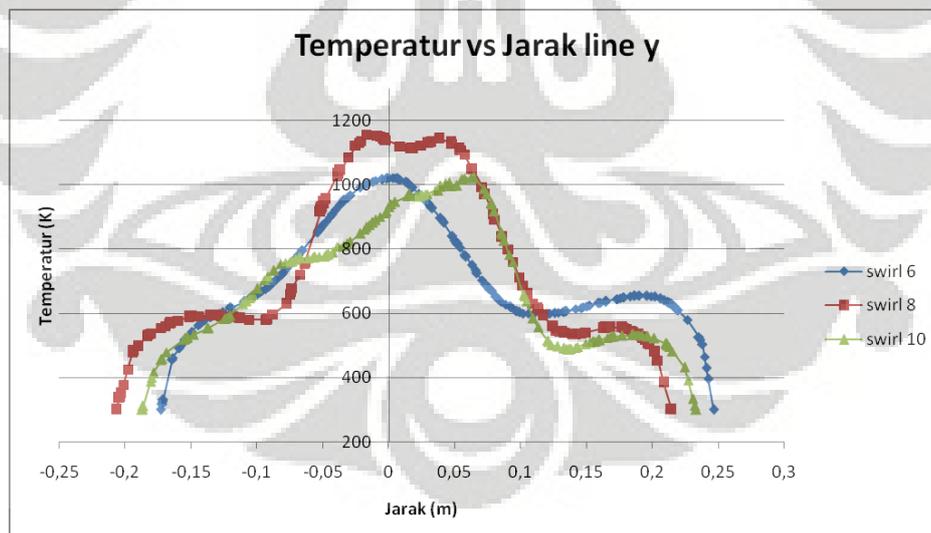
## 4.2 Plane $x = 0,2$ .

Hampir sama dengan plane yang sebelumnya, pada plane ini akan ditampilkan juga beberapa grafik hasil simulasi gas burner dengan variasi tiga jenis swirl yang berbeda untuk mengetahui karakteristik pembakaran pada plane ini.

### ➤ Temperatur.



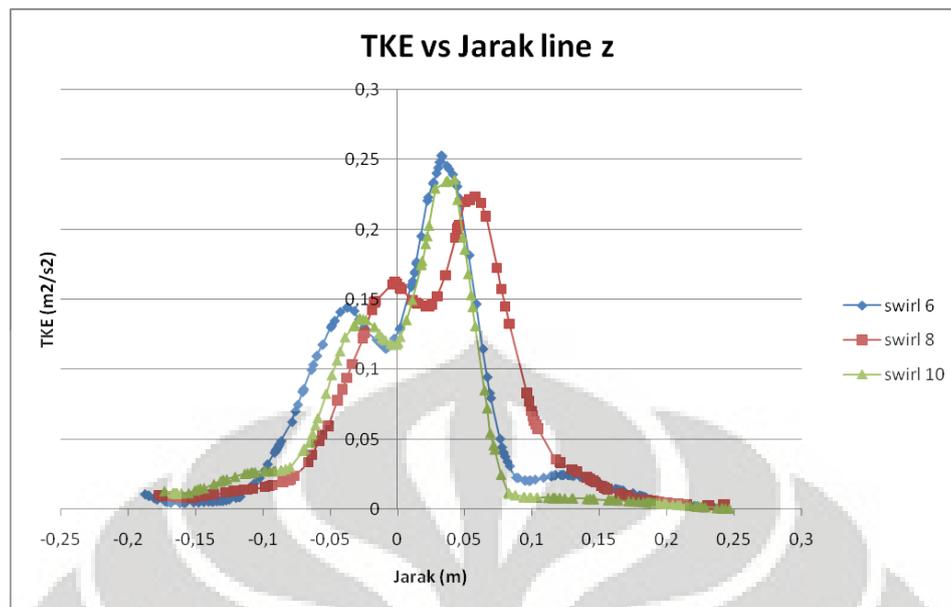
Grafik 4-13. Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .



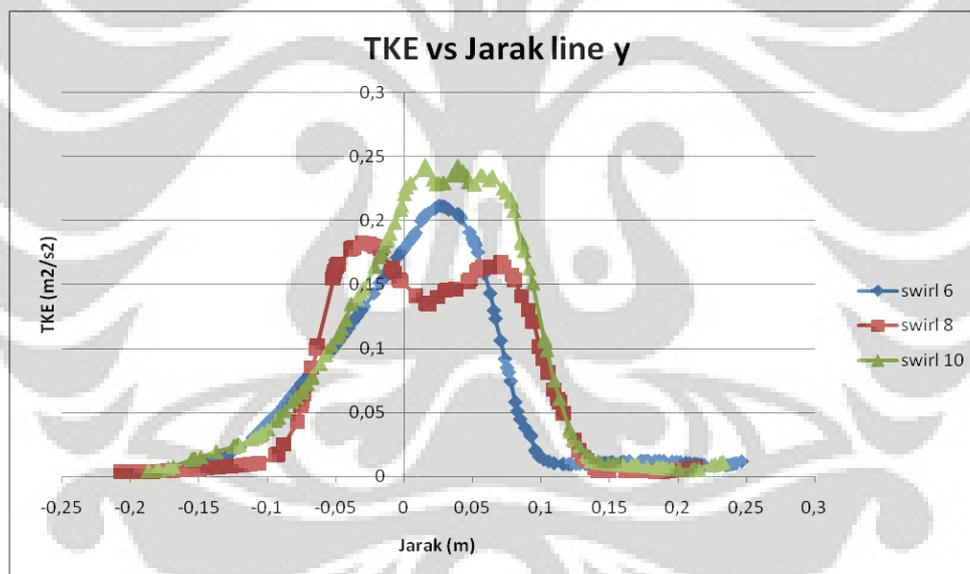
Grafik 4-14. Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

Pada grafik diatas, terlihat juga bahwa persebaran temperatur yang ada cukup merata antara ketiga jenis swirl yang ada, tetapi seperti terlihat pada grafik. Gas burner dengan jumlah swirl blade 8 mempunyai temperatur yang persebarannya cukup merata dilihat dari perpotongan sumbu  $z$  dan  $y$  dibandingkan dengan dua gas burner yang lainnya.

➤ Energi Kinetik Turbulen.



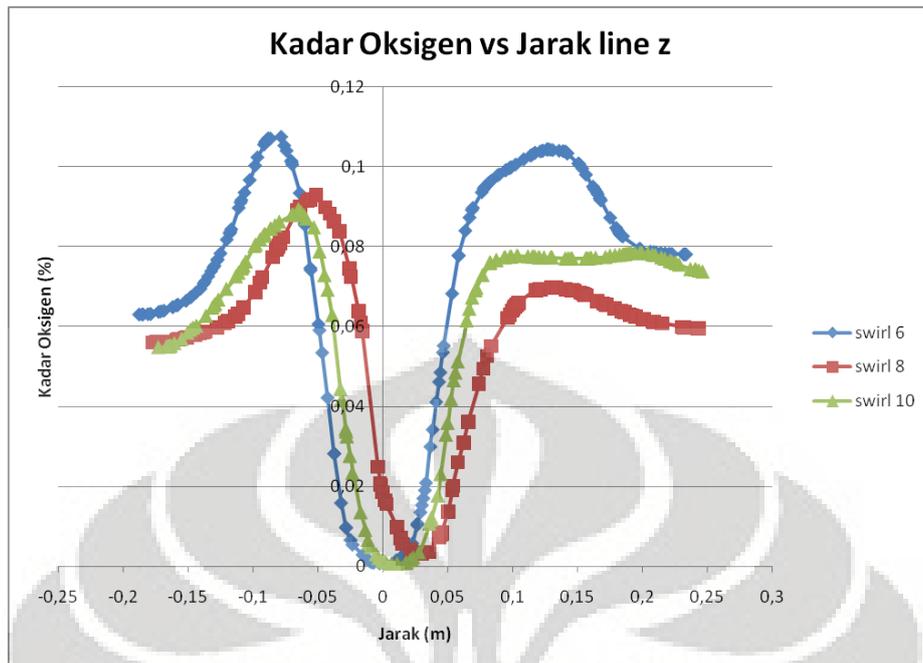
Grafik 4-15. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .



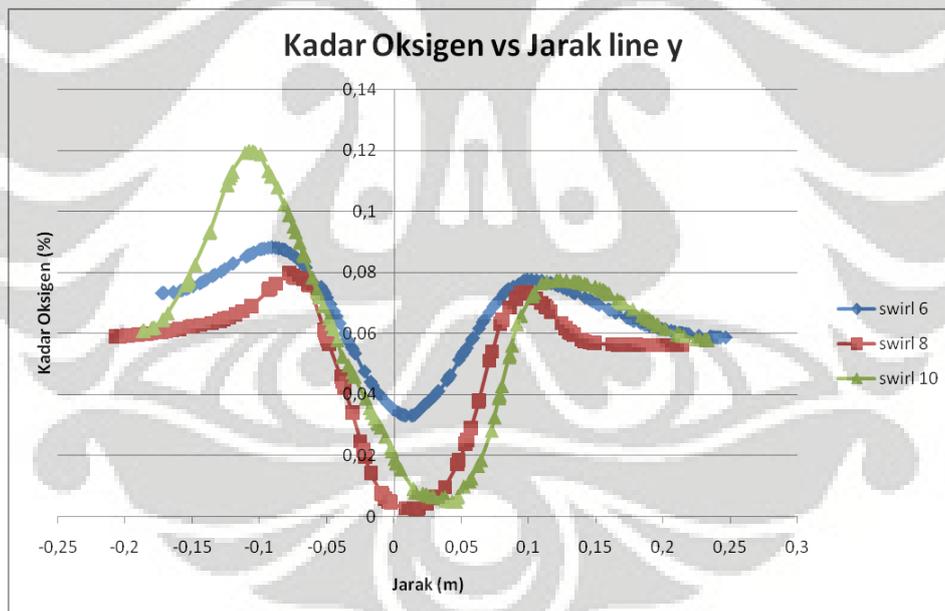
Grafik 4-16. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

Seperti yang dapat kita lihat dari grafik diatas, energi kinetik turbulen terbesar terjadi pada gas burner dengan jumlah blade pada swirl 10 baik itu pada perpotongan sumbu  $z$  dan perpotongan sumbu  $y$  nya. Setelah swirl 10, dilanjutkan dengan swirl 8 dengan persebaran yang lebih merata dibandingkan swirl 6 yang besar pada perpotongan sumbu  $z$  tetapi kecil pada perpotongan sumbu  $y$  pada plane ini. Semakin banyak jumlah blade pada swirl maka turbulen kinetik energinya akan semakin besar.

➤ Oksigen.



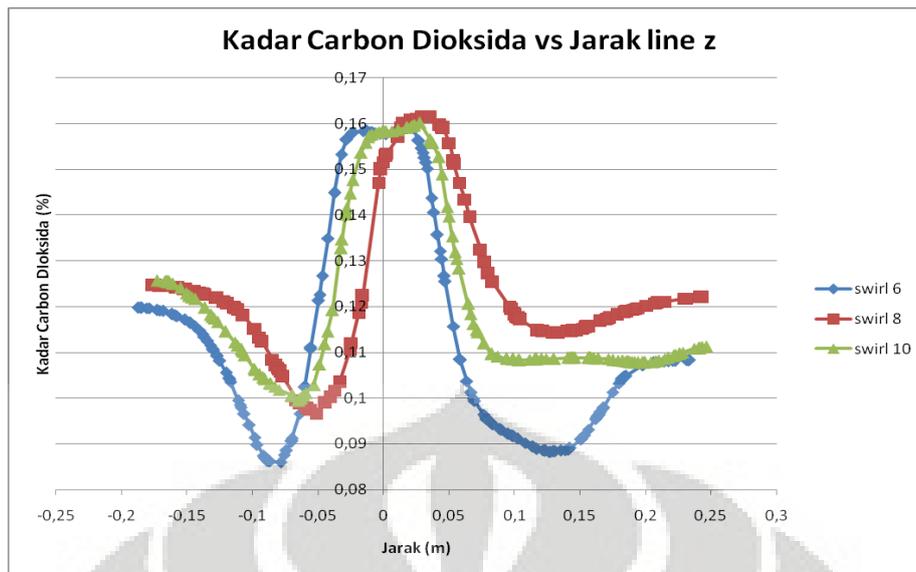
Grafik 4-17. Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .



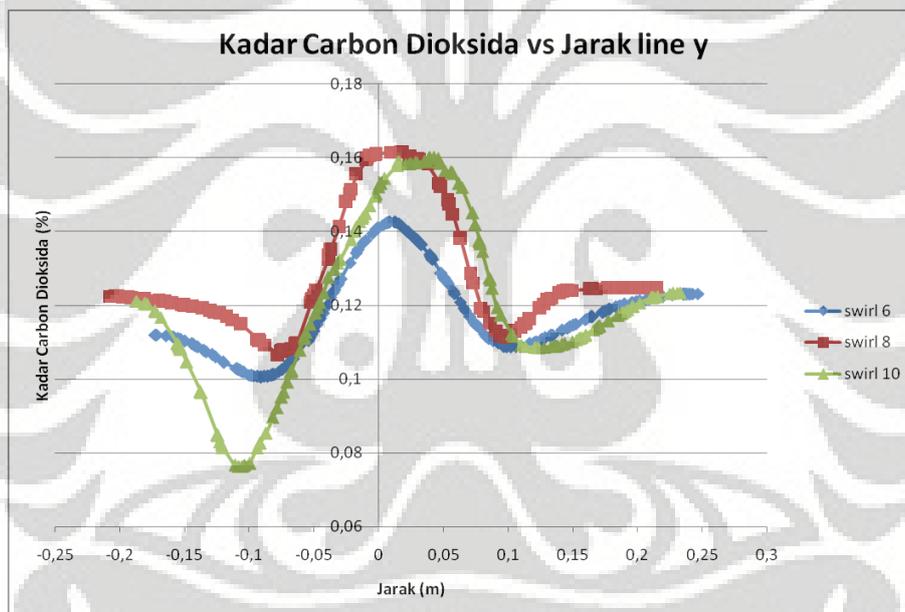
Grafik 4-18. Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

Jumlah kadar oksigen pada plane  $x = 0,2$  mempunyai karakteristik yang hampir sama seperti plane  $x = 0,05$ , yaitu akan mengalami penurunan di daerah tengah plane tersebut. Hal ini karena oksigen lebih banyak bercampur dengan bahan bakar dan terbakar pada bagian tengah dari plane sehingga mengakibatkan penurunan kadar oksigen.

➤ Carbon Dioksida.



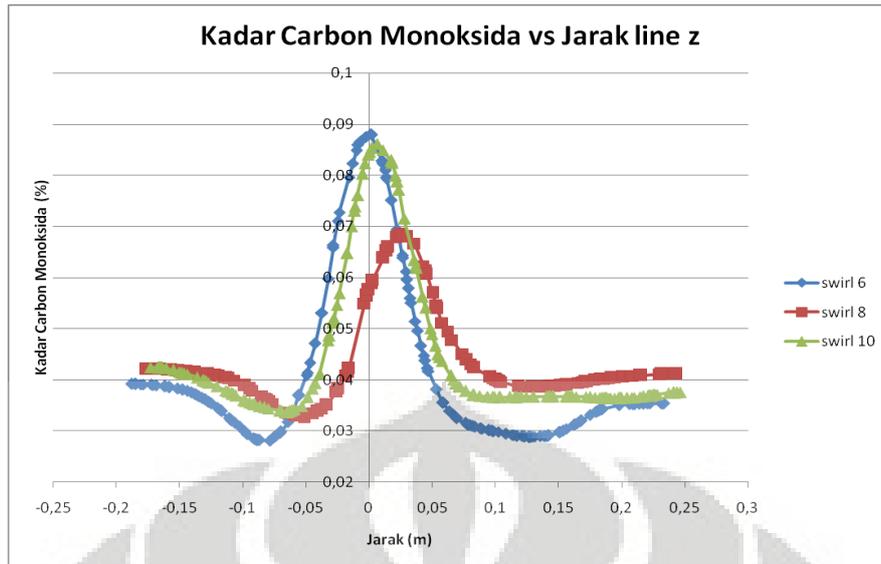
Grafik 4-19. Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .



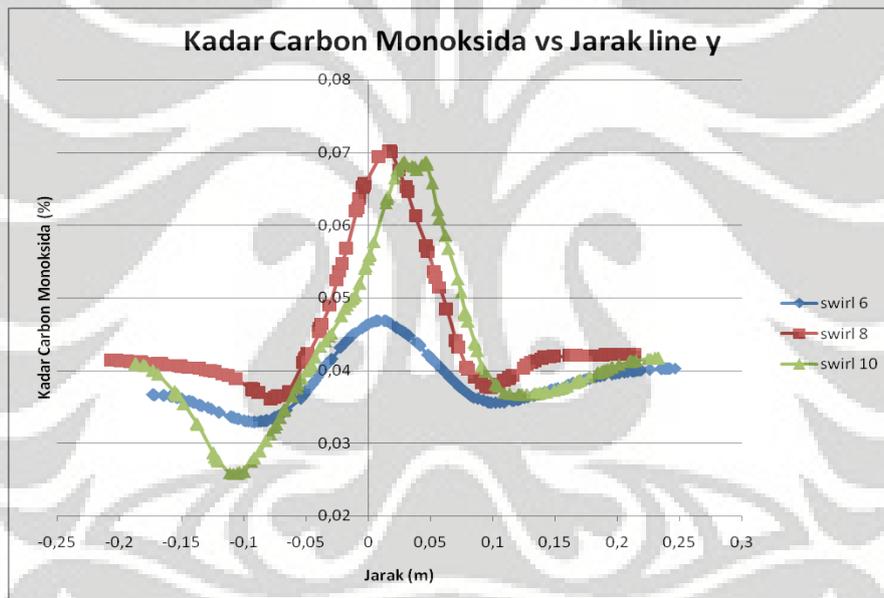
Grafik 4-20. Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

Kadar Carbon Dioksida pada plane ini mengalami penurunan yang cukup banyak apabila dibandingkan dengan kadar Carbon Dioksida pada plane sebelumnya. Hal ini dapat dikarenakan reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan udara tidak sebesar dan sehebat seperti pada plane sebelumnya.

➤ Carbon Monoksida.



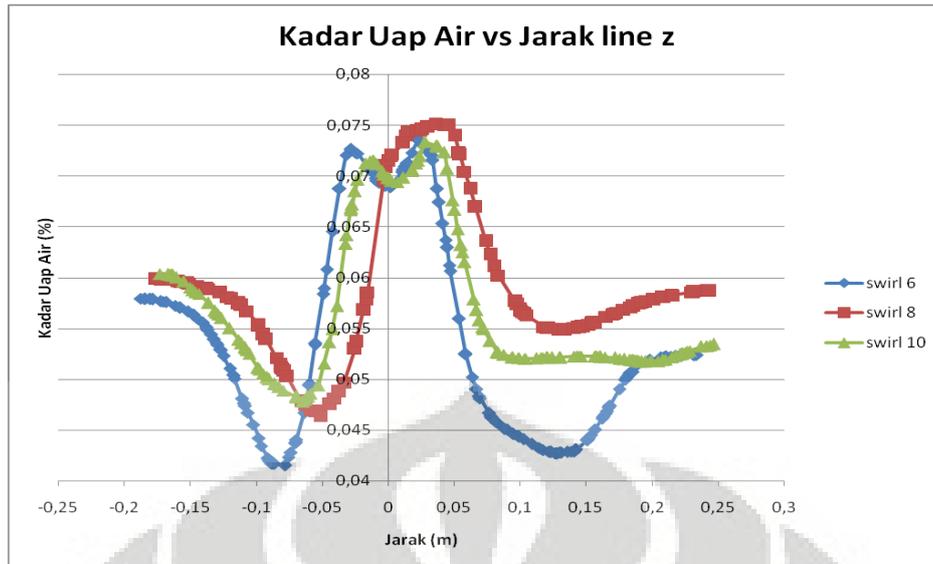
Grafik 4-21. Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .



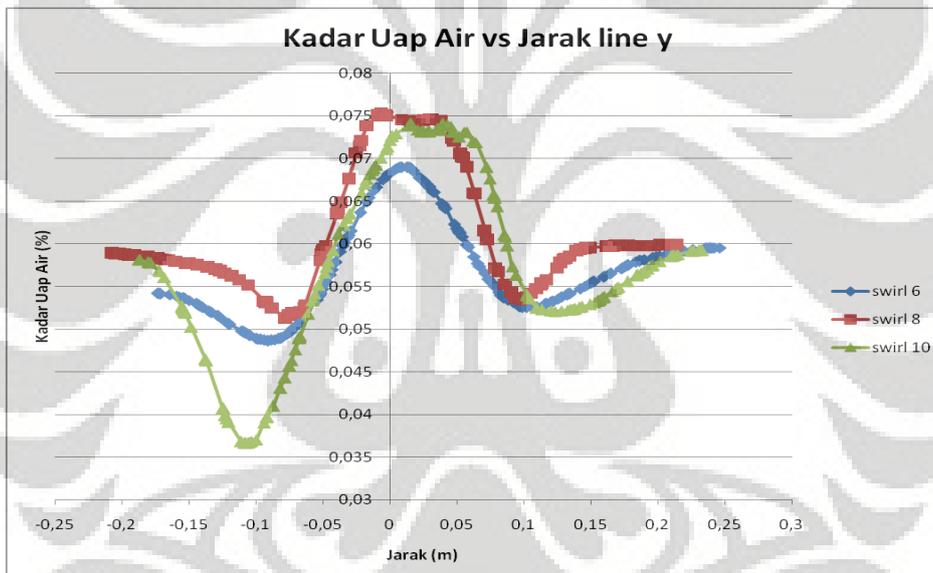
Grafik 4-22. Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

Jumlah kadar CO atau Carbon Monoksida pada plane ini sudah cukup jauh berkurang dibandingkan pada plane sebelumnya, hal ini terjadi karena pembakaran bahan bakar dengan oksidator sudah berjalan semakin baik menuju *fully develop combustion* sehingga gas CO sebagai akibat pembakaran yang kurang sempurna semakin menipis kadarnya. Selain itu, gas ini juga mengalami reaksi dengan oksidator yang membentuk gas carbon dioksida nantinya, hal ini jugalah yang mempengaruhi turunnya kadar CO dalam plane ini.

➤ Uap Air.



Grafik 4-23. Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $z$ .

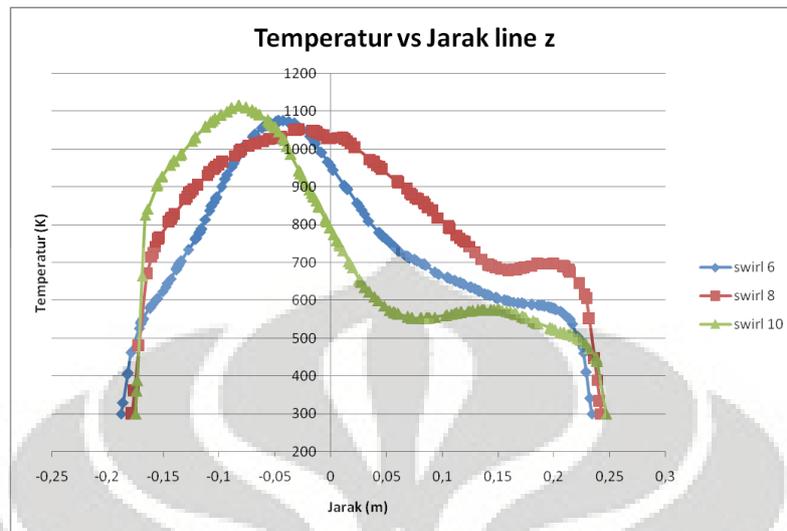


Grafik 4-24. Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,2$  line  $y$ .

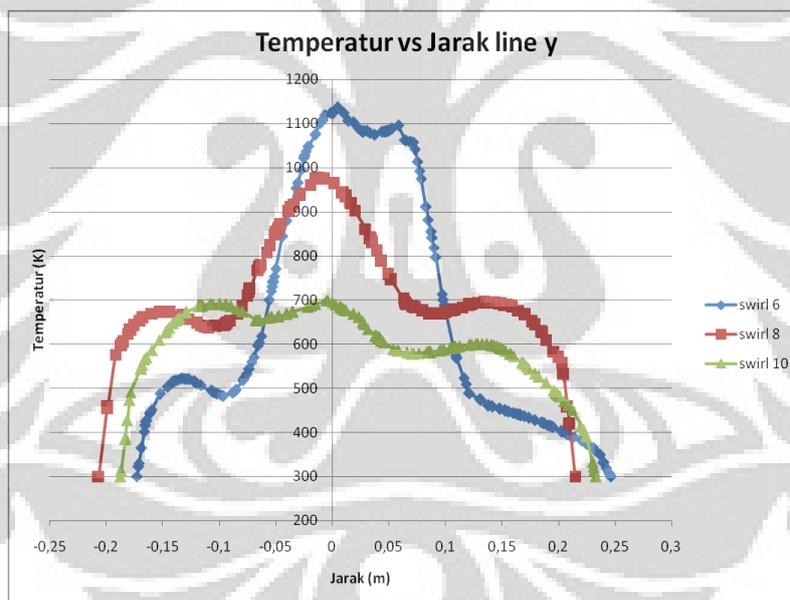
Kadar uap air pada plane ini mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kadar gas serupa pada plane sebelumnya, hal ini dapat dikarenakan karakteristik api yang mulai terpusat di tengah plane saja sehingga gas hasil pembakarannya pun akan lebih tersebar ke pinggir-pinggirnya juga sehingga akan lebih merata diseluruh plane daripada plane yang sebelumnya.

### 4.3 Plane $x = 0,5$ .

#### ➤ Temperatur.



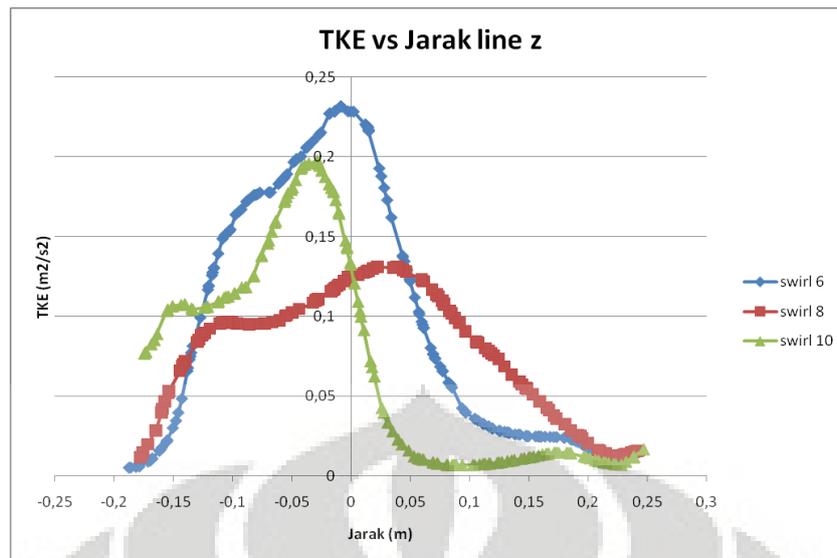
Grafik 4-25. Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .



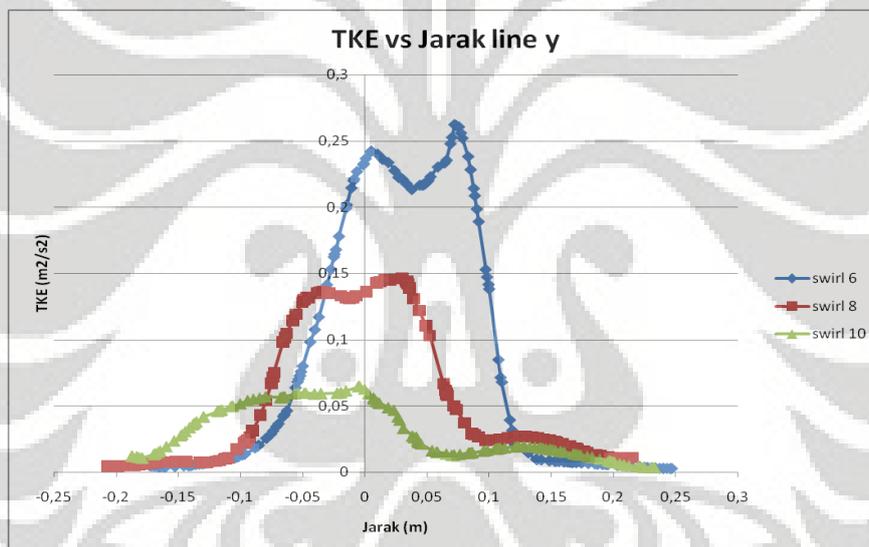
Grafik 4-26. Temperatur vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Temperatur pada plane ini mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan plane 0,05 dan plane 0,2. Hal ini karena reaksi pembakaran yang terjadi disini relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan plane-plane sebelumnya dan juga bahan bakar yang tereaksi sudah mulai berkurang sehingga temperatur yang dihasilkan pun akan jauh berkurang.

#### ➤ Energi Kinetik Turbulen.



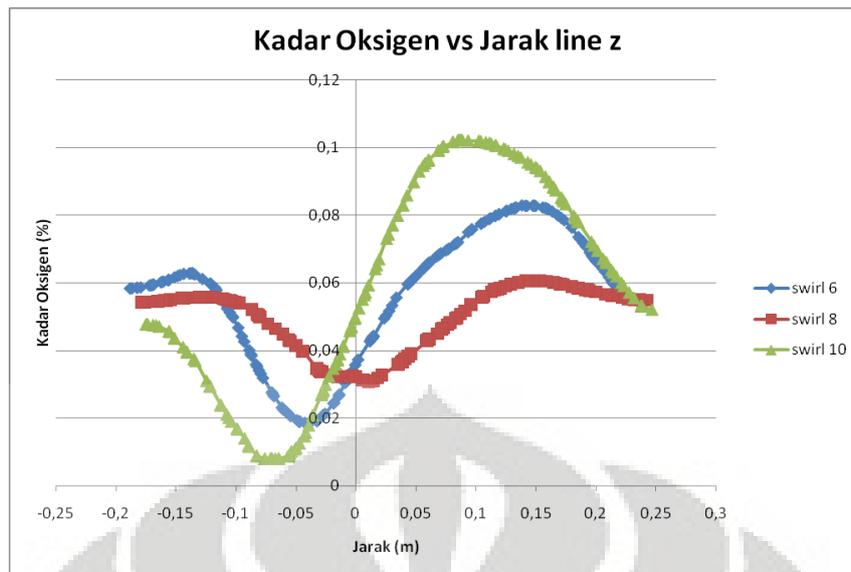
Grafik 4-27. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .



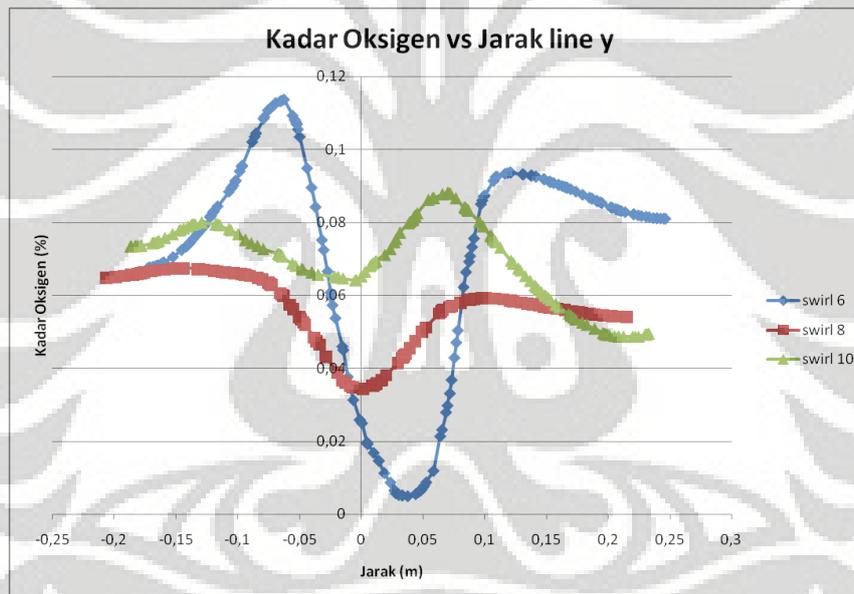
Grafik 4-28. Energi Kinetik Turbulensi vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Turbulensi yang terjadi pada plane ini masih cukup besar terjadi pada gas burner yang menggunakan swirl 10. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa pada gas burner dengan swirl 10 belum terjadi pencampuran yang sempurna antara bahan bakar dengan oksidatornya sehingga masih terjadi turbulensi yang cukup tinggi, sebaliknya pada swirl 8 turbulensi yang terjadi sudah cukup jauh berkurang yang bisa mengindikasikan bahwa pencampuran bahan bakar dengan udara lebih sempurna jika dibandingkan dengan tipe gas burner yang mempunyai swirl 10.

➤ Oksigen.



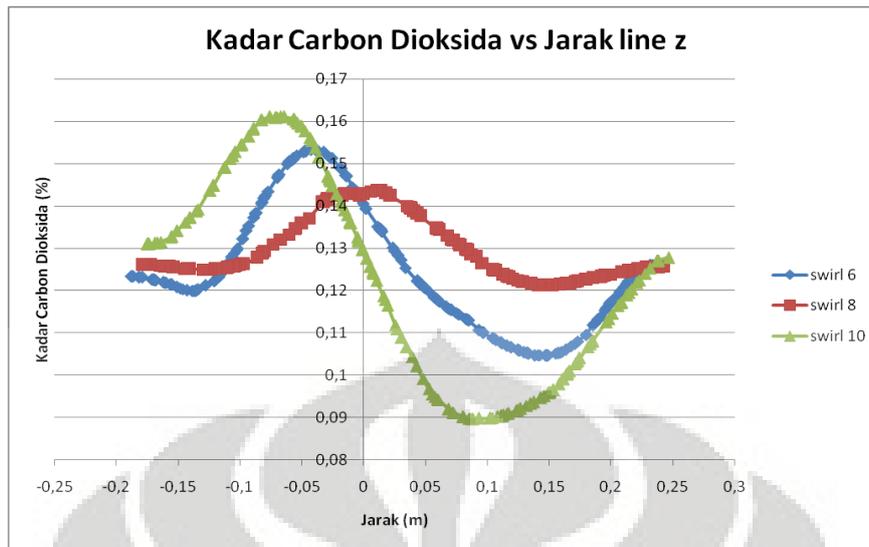
Grafik 4-29. Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .



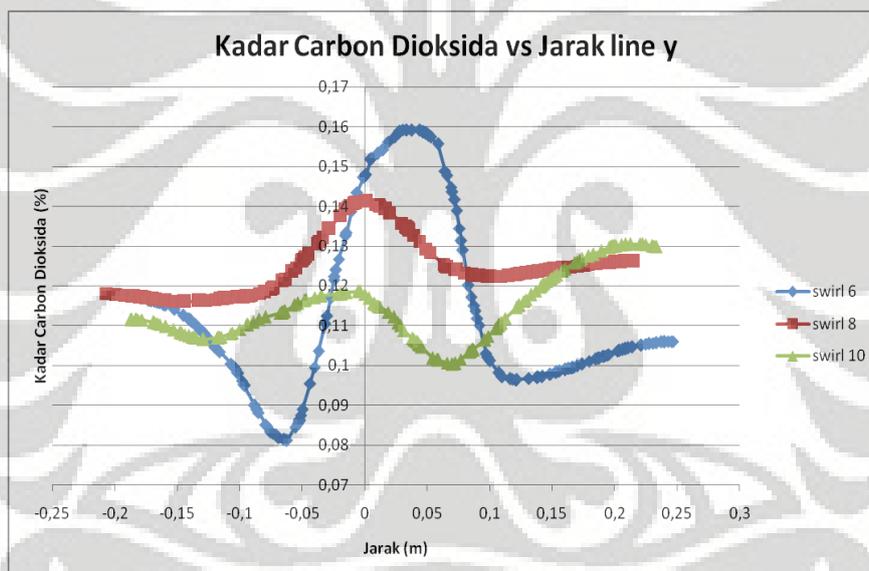
Grafik 4-30. Fraksi Oksigen vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Seperti yang terlihat pada grafik di atas bahwa kadar gas oksigen yang paling tinggi berada pada gas burner dengan swirl 6, hal ini bisa terjadi karena pencampuran yang belum merata antara oksigen dengan bahan bakar karena pengaruh swirl atau dapat juga karena bahan bakar yang telah habis terbakar sebelum mencapai plane 0,5 sehingga kadar oksigen yang berada disini cukup tinggi.

➤ Carbon Dioksida.



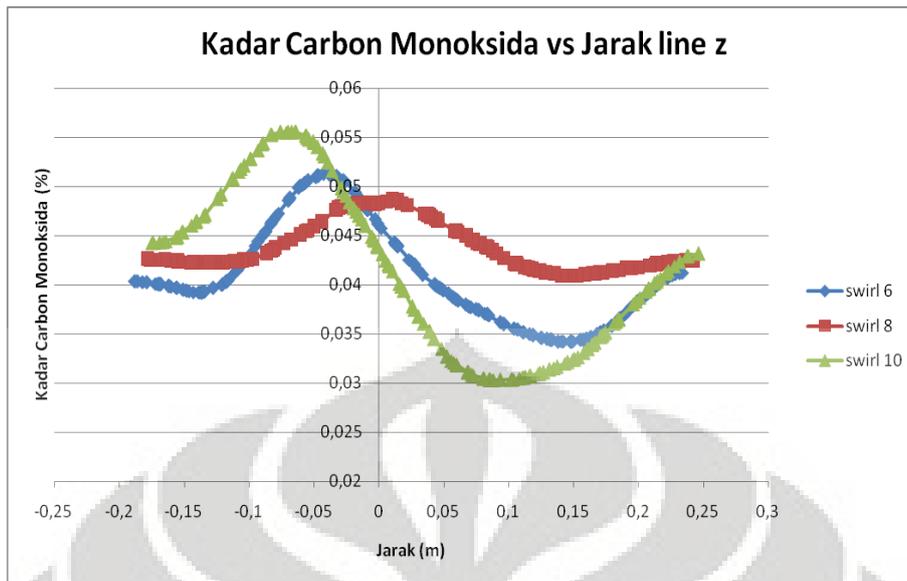
Grafik 4-31. Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .



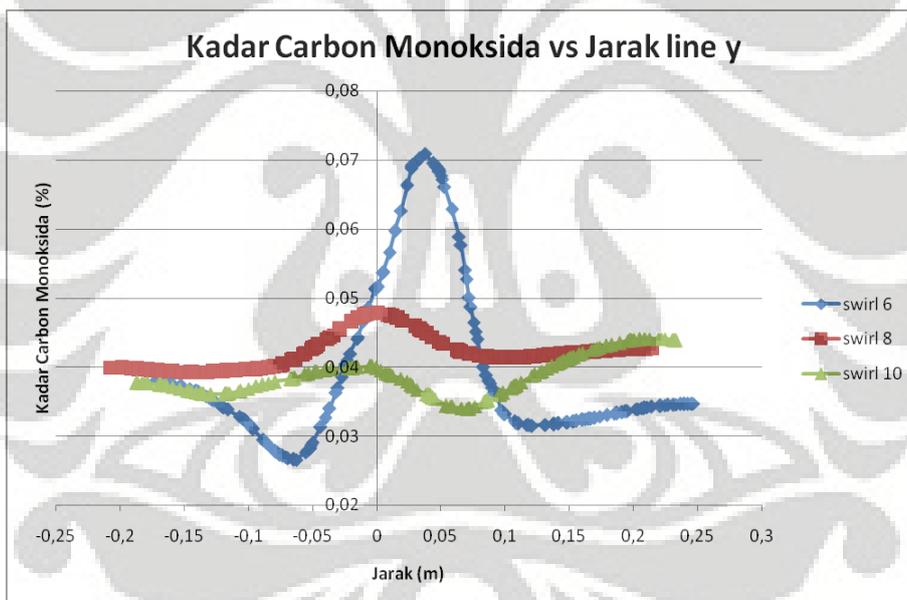
Grafik 4-32. Fraksi Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Kadar Carbon Dioksida pada plane ini sudah cukup stabil dan terus mengalami penurunan dibandingkan plane sebelumnya karena reaksi pembakaran akan semakin berkurang seiring dengan semakin menjauh dari mulut combuster sehingga akan didapatkan grafik linear antara jarak dengan kadar Carbon Dioksida nantinya.

➤ Carbon Monoksida.



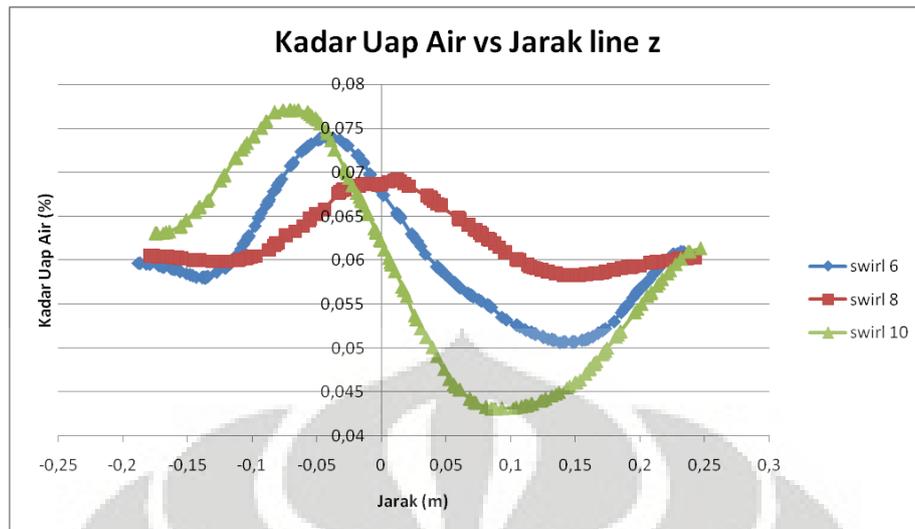
Grafik 4-33. Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .



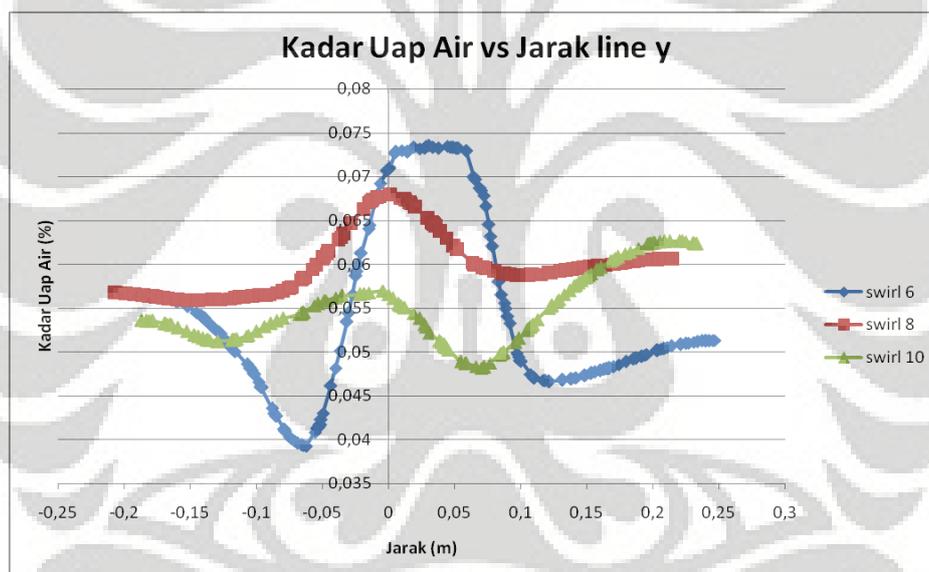
Grafik 4-34. Fraksi Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Kadar CO juga akan mengalami penurunan seperti halnya kadar gas-gas yang lain yang terlibat dalam reaksi pembakaran. Kadar CO mengalami penurunan dapat disebabkan karena CO yang ikut bereaksi dengan oksigen dan ketersediaan gas CO yang semakin kecil karena pembakaran yang dihasilkan sempurna.

➤ Uap Air.



Grafik 4-35. Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $z$ .

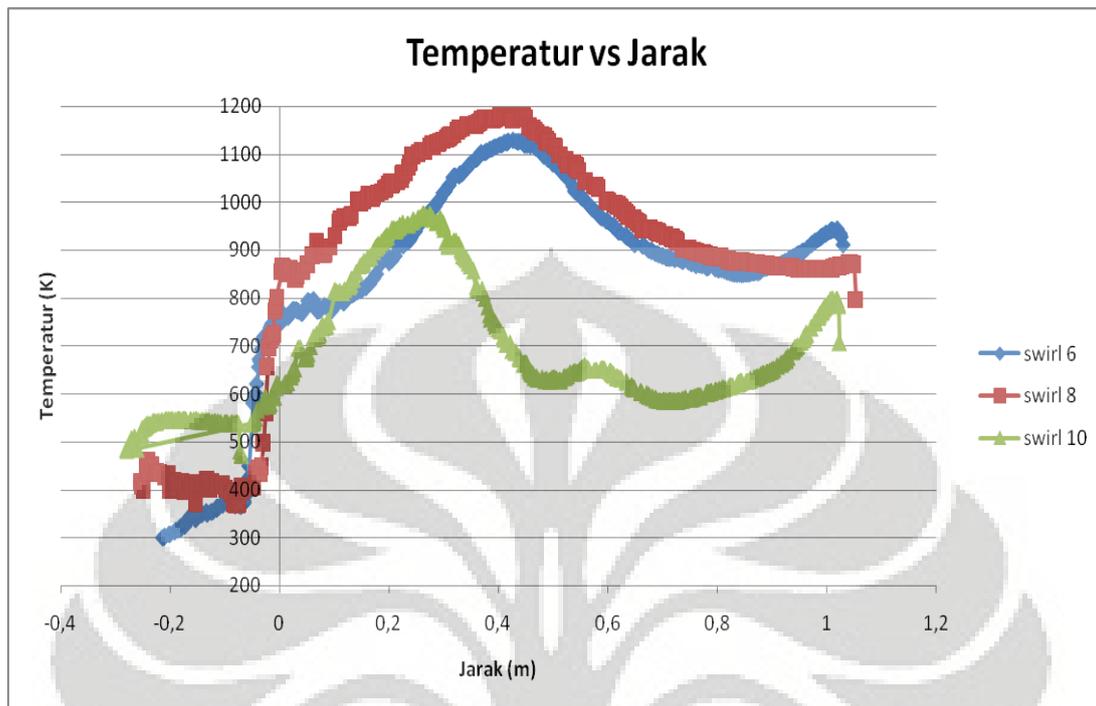


Grafik 4-36. Fraksi Uap Air vs Jarak pada Plane  $x = 0,5$  line  $y$ .

Kadar uap air akan semakin menurun untuk jarak yang semakin jauh dengan mulut combusternya, hal ini disebabkan karena reaksi pembakaran yang terus berkurang seiring dengan fungsi jaraknya sehingga mempengaruhi kadar pembentukan gas ini sebagai hasil dari pembakaran itu sendiri.

#### 4. 4 Plane Tengah Melintang Sumbu y.

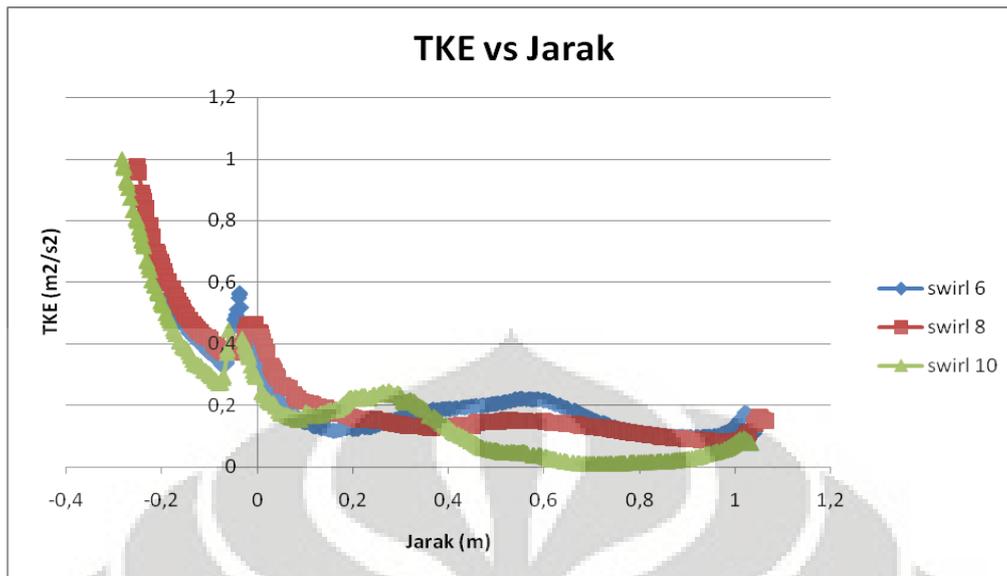
##### ➤ Temperatur.



Grafik 4-37. Temperatur vs Jarak pada Plane tengah line x.

Seperti yang terlihat diatas bahwa temperatur akan naik pada saat daerah tengah dimana disitu terjadi reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara pada saat kondisi *fully develop* sehingga mengakibatkan temperatur yang dihasilkan tinggi. Untuk ketiga jenis gas burner seperti yang dapat kita lihat temperatur yang dihasilkan oleh masing-masing burner tersebut tidak jauh berbeda, tetapi apabila melihat kontur temperatur pada plane sebelumnya maka burner yang persebaran temperaturnya paling merata adalah burner dengan jumlah blade pada swirl 8.

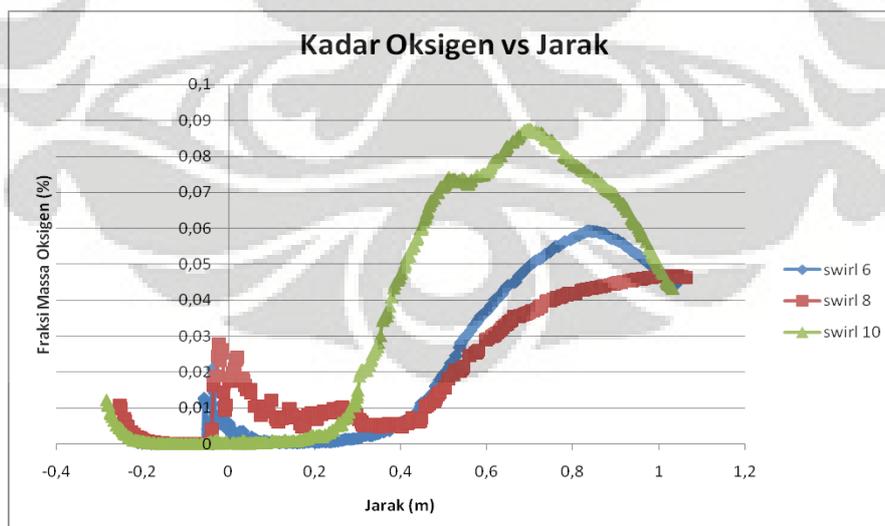
➤ Energi Kinetik Turbulen.



Grafik 4-38. Energi Kinetik Turbulen vs Jarak pada Plane tengah line x.

Energi kinetik turbulensi yang terbesar akan didapatkan pada jumlah blade swirl 10 dan berturut-turut sampai dengan yang terkecil adalah 8 dan 6. Dapat kita tarik kesimpulan bahwa jumlah swirl akan mempengaruhi besar dari energi kinetik turbulensi ini dan juga akan mempengaruhi pula pencampuran bahan bakar dengan udara nantinya. Sehingga penambahan jumlah blade pada swirl menjadi penting dalam karakteristik pembentukan api.

➤ Oksigen.

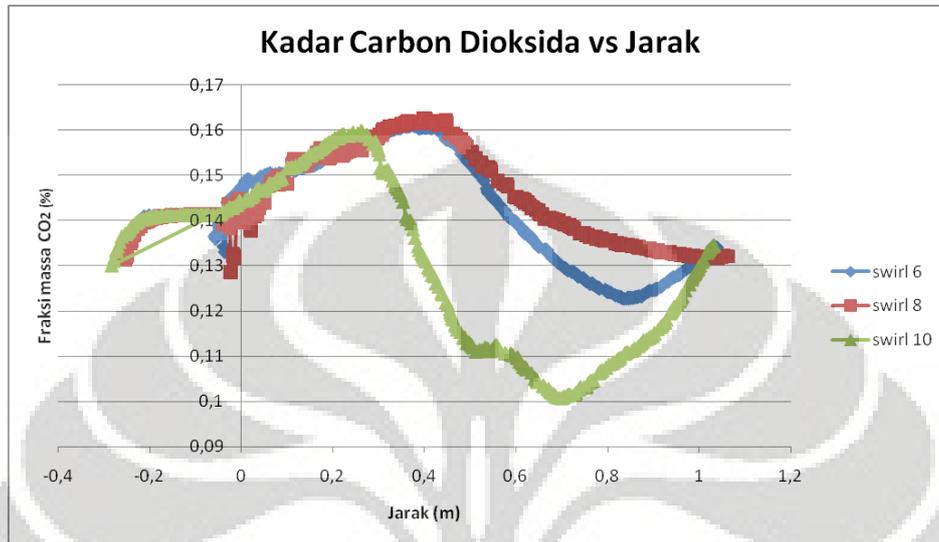


Grafik 4-39. Fraksi Massa Oksigen vs Jarak pada Plane tengah line x.

Kontur oksigen seperti yang tampak pada grafik diatas akan mengalami penurunan pada tengah bidang yang di ambil, hal ini terjadi karena di daerah tersebut sama-sama terjadi

percampuran antara bahan bakar dengan gas oksigen. Kadar oksigen akan naik kembali seiring dengan fungsi jarak karena pembentukan flame akan terjadi hanya di daerah dekat dengan mulut combuster saja.

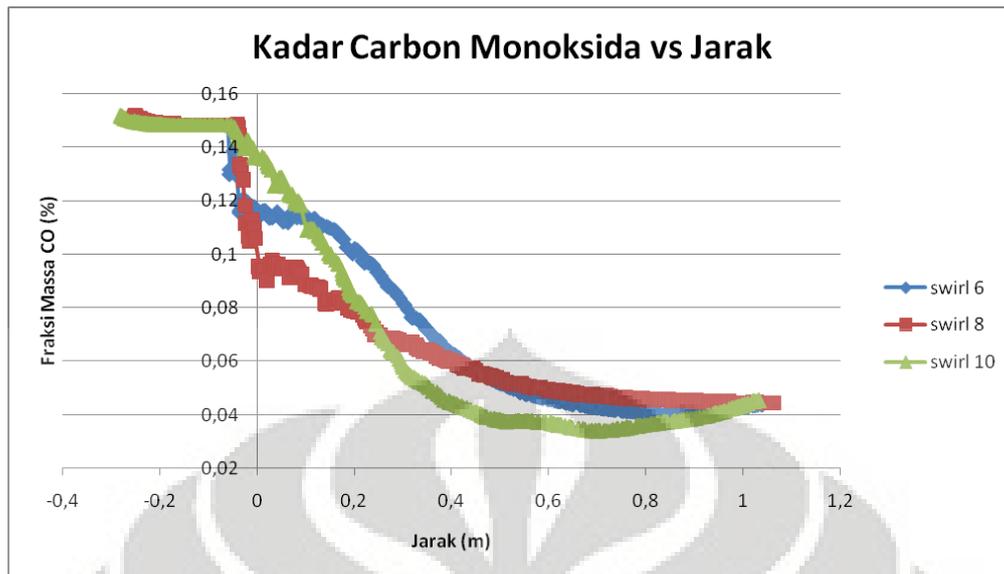
➤ Carbon Dioksida.



Grafik 4-40. Fraksi Massa Carbon Dioksida vs Jarak pada Plane tengah line x.

Kadar Carbon Dioksida yang ada pada plane tengah ini akan semakin menurun dengan fungsi jarak, hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran dan pembentukan api dimulai dari awal mulut combuster tetapi semakin melemah hingga akhir selubung gas burner. Karena gas ini akan terbentuk semakin banyak apabila terjadi reaksi pembakaran dan begitu pula sebaliknya akan menipis jika pembakarannya mulai berkurang.

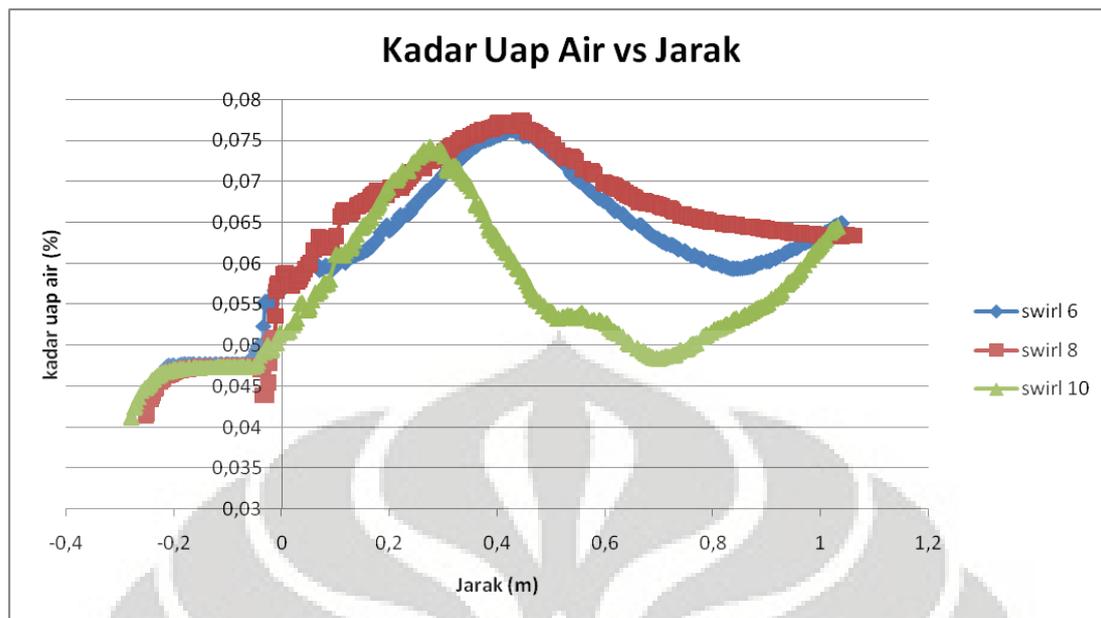
➤ Carbon Monoksida.



Grafik 4-41. Fraksi Massa Carbon Monoksida vs Jarak pada Plane tengah line x.

Seperti yang terlihat pada grafik diatas, kadar gas Carbon Monoksida pada awal plane sangat tinggi. Hal ini dapat dikarenakan laju pembentukan dari gas ini tinggi pada saat reaksi pembakaran terjadi, selain itu pengaruh pembakaran yang tidak sempurna di reaktor juga mempengaruhi jumlah kadar gas ini pada gas burner. Gas ini akan semakin menurun kadarnya seiring dengan fungsi jarak pada plane karena gas ini merupakan gas yang bisa bereaksi terhadap oksigen dan terbakar yang akan mengakibatkan terbentuknya gas lainnya yaitu Carbon Dioksida.

➤ Uap Air.



Grafik 4-42. Fraksi Massa Uap Air vs Jarak pada Plane tengah line x.

Kadar gas ini akan semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan oksidator, karena gas ini merupakan gas produk pembakaran itu sendiri. Seperti dilihat pada grafik diatas, gas ini akan banyak ditemui pada saat reaksi pembakaran terjadi paling hebat, yaitu di bagian tengah plane ini dan akan semakin turun seiring dengan melemahnya reaksi pembakaran yang ada yang linear dengan jaraknya.

#### 4.4 Kadar Gas Pada Plane Outlet

Dengan mendapatkan density masing-masing gas pada suhu tertentu, didapatkan fraksi volume dengan rumus :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana :

$\rho$  = massa jenis

$m$  = massa

$V$  = Volume

➤ Swirl 6.

Average of Facet Values

Static Temperature (k)

-----  
 outgas 729.22276

Average of Facet Values

Mass fraction of o2 ()

-----  
 outgas 0.0030112454

Average of Facet Values

Mass fraction of co ()

-----  
 outgas 0.054621282

Average of Facet Values

Mass fraction of co2 ()

-----  
 outgas 0.16475629

Average of Facet Values

Mass fraction of h2o ()

-----  
 outgas 0.080174709

berdasarkan referensi diatas maka didapatkan nilai density dan persen volume adalah sebagai berikut :

Gas emisi	$\rho$	Fraksi massa (%)	persen volume (%)
Oksigen	0.533	0.3	0.562852
carbon dioksida	0.73	16.48	22.57534
carbon monoksida	0.47	5.46	11.61702
uap air	0.3	8.02	26.73333

➤ Swirl 8.

Average of Facet Values

Static Temperature (k)

outgas 693.04669

Average of Facet Values

Mass fraction of o2 ()

outgas 0.04980912

Average of Facet Values

Mass fraction of co ()

outgas 0.043719434

Average of Facet Values

Mass fraction of co2 ()

outgas 0.12944549

Average of Facet Values

Mass fraction of h2o ()

outgas 0.06220902

Berdasarkan referensi yang ada maka akan didapatkan nilai density dan persen volume dari emisi gas nya adalah sebagai berikut :

gas emisi	$\rho$	fraksi massa (%)	persen volume (%)
Oksigen	0.56	4.981	8.894642857
carbon dioksida	0.77	12.95	16.81818182
carbon monoksida	0.49	4.372	8.92244898
uap air	0.32	6.22	19.4375

➤ Swirl 10.

Average of Facet Values

Static Temperature (k)

outgas 646.17097

Average of Facet Values

Mass fraction of o2 ()

outgas 0.054756095

Average of Facet Values

Mass fraction of co ()

outgas 0.042489021

## Average of Facet Values

Mass fraction of co2                    ()

-----

outgas                    0.12574213

## Average of Facet Values

Mass fraction of h2o                    ()

-----

outgas                    0.060351449

berdasarkan referensi yang ada maka akan didapatkan nilai density dan persen volume dari gas emisi yang ada adalah :

gas emisi	$\rho$	fraksi massa (%)	persen volume (%)
Oksigen	0.6	5.48	9.133333333
carbon dioksida	0.83	12.57	15.14457831
carbon monoksida	0.53	4.25	8.018867925
uap air	0.34	6.04	17.76470588

## BAB 5

### KESIMPULAN dan SARAN.

#### 5.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan terhadap tiga jenis *gas burner* yang berbeda dengan variasi swirl vane antara 6, 8, dan 10 didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain adalah :

- Variasi dari jumlah vane pada swirl, akan mempengaruhi cepat lambatnya pencampuran bahan bakar dengan udara dan besarnya zona resirkulasi internal yang ada pada saat reaksi pembakaran terjadi, tetapi perlu diingat bahwa yang dicari adalah nilai paling optimum dari penambahan jumlah vane ini sehingga terjadi reaksi pembakaran yang lebih bagus dan lebih merata distribusi temperaturnya dan lebih stabil nyala apinya.
- Variasi vane pada burner tidak banyak mempengaruhi tinggi atau tidaknya temperatur yang dihasilkan, baik itu untuk swirl vane 6, 8, dan 10 karena temperatur yang dihasilkan dan persebarannya tidak jauh berbeda.
- Swirl vane 8 menunjukkan jenis swirl yang paling optimum karena mempunyai pencampuran yang tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat serta mempunyai persebaran temperatur yang lebih merata dibandingkan dengan dua jenis swirl vane yang lainnya.
- Zona resirkulasi yang terlalu tinggi ternyata tidak terlalu baik pula bagi pembakaran karena berdasarkan  $3T$  of *Combustion* waktu kontak yang dicapai untuk resirkulasi yang tinggi terlalu cepat dengan temperatur inisiasi agar reaksi pembakaran terjadi, udara yang berlebih pada karena pencampuran yang kurang merata juga akan menimbulkan efek berupa pergeseran lidah api yang lebih cenderung ke arah kiri gas burner.

#### 5.2 Saran.

Beberapa saran yang bisa diberikan dalam penulisan selanjutnya antara lain adalah :

- Diperlukan kesabaran dan ketelitian dalam mengerjakan simulasi ini, karena terdapat banyak sekali skema yang bisa dilakukan.
- Dalam penelitian selanjutnya sebaiknya diteliti lagi dengan lebih banyak variasi jumlah blade yang ada sehingga mendapatkan hasil yang lebih teliti nantinya.

**DAFTAR REFERENSI.**

- [1] Putra, Sina Adam. “*Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa pada Gas Burner yang Menggunakan Konis*”. DTM FTUI. (2009)
- [2] Surjosatyo, Adi. & Ani, Farid. *EXPERIMENTAL AND PREDICTION OF THE DEVELOPMENT OF LOW-CALORIFIC SWIRL BURNER*, Reric International Energy Journal, Asian Institute Technology (AIT), Bangkok vol 6 no 2, Desember. (2005)
- [3] Jaafar, M N M. The Influence of Variable Vane Angle Air Swirler on Reducing Emissions From Combustion Process.
- [4] Versteeg, H K, W Malalasekera. *An Introduction to Computational Fluid and Dynamics The Finite Volume Method*. Malaysia : Longman Scientific & Technical.
- [5] Lomax, Havard, Thomas H Pullian, David W Zingg. *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*.
- [6] Tuakia, Firman. *Dasar-Dasar CFD menggunakan FLUENT*. Informatika Bandung: Bandung, 2008.

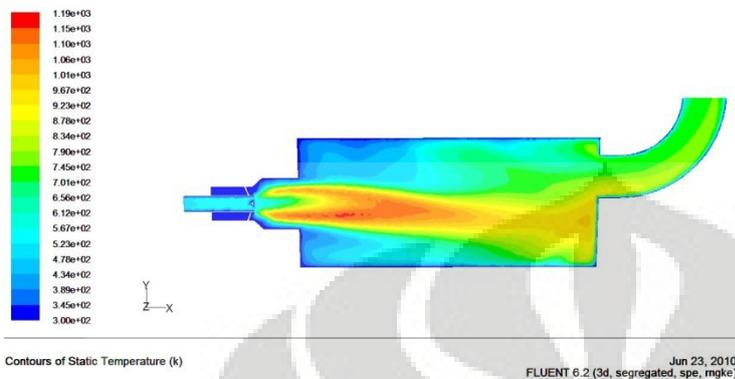
LAMPIRAN



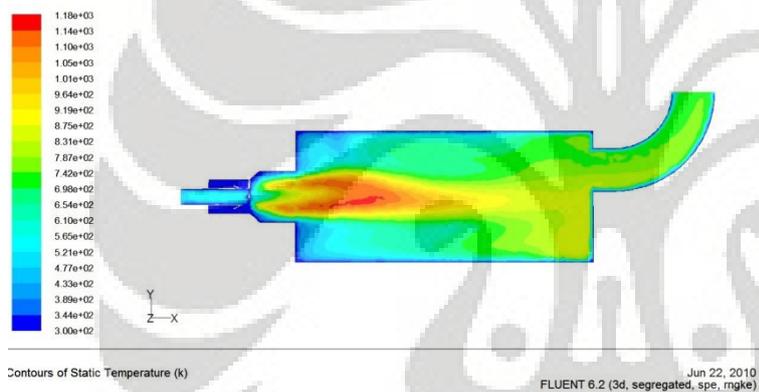
## 1. Plane Tengah sejajar sumbu y

➤ Kontur Temperatur.

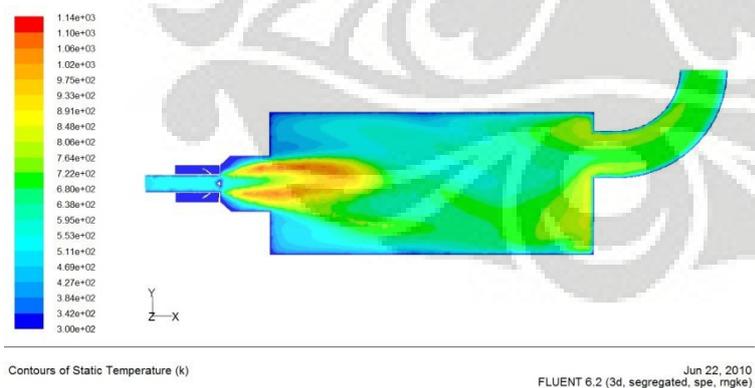
### Swirl 6



### Swirl 8

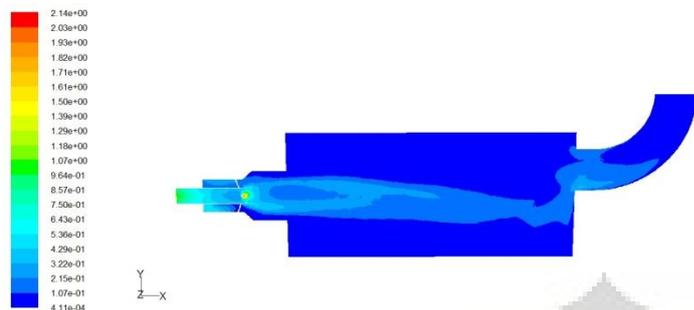


### Swirl 10



➤ Turbulance kinetik energy

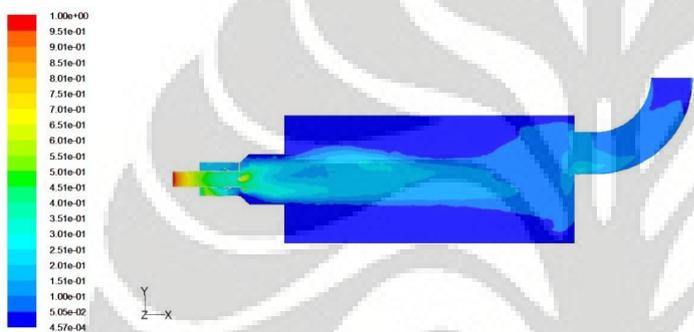
Swirl 6



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

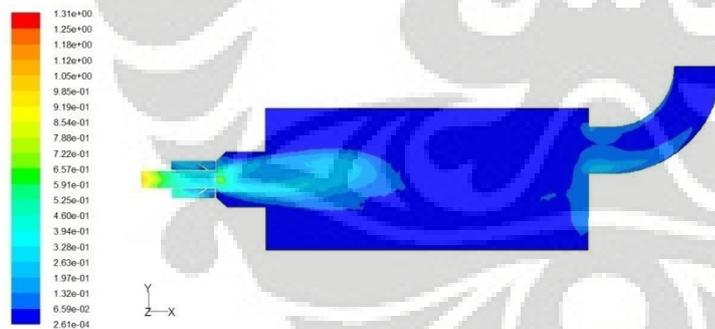
Swirl 8



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10

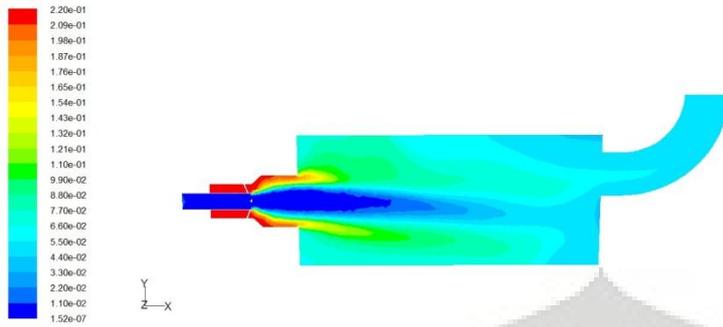


Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ Kadar Oksigen

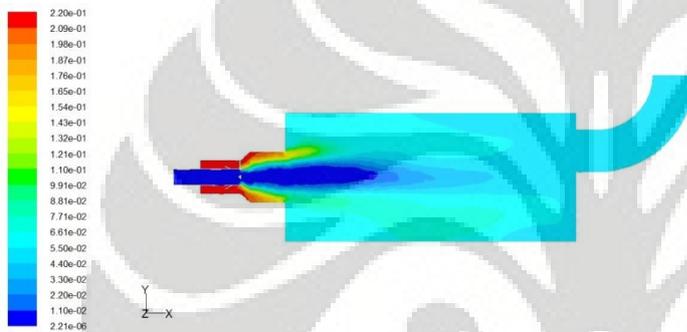
Swirl 6



Contours of Mass fraction of o2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

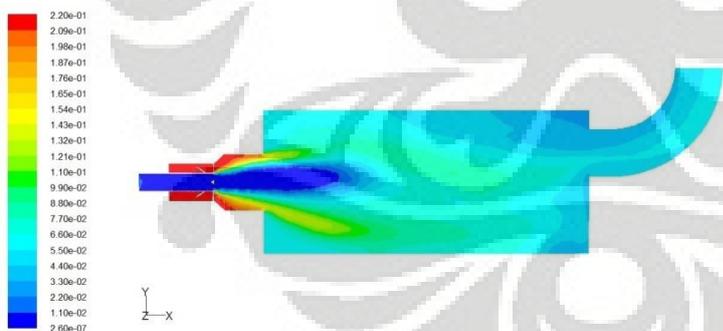
Swirl 8



Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10

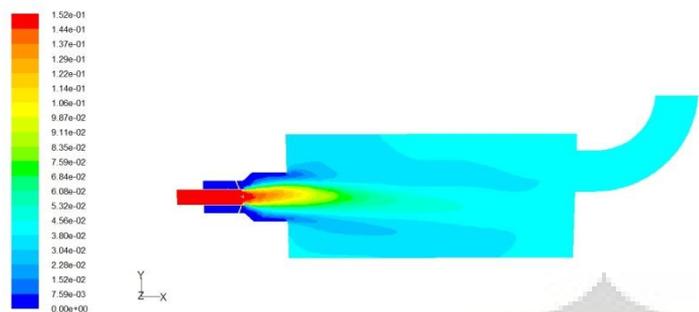


Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

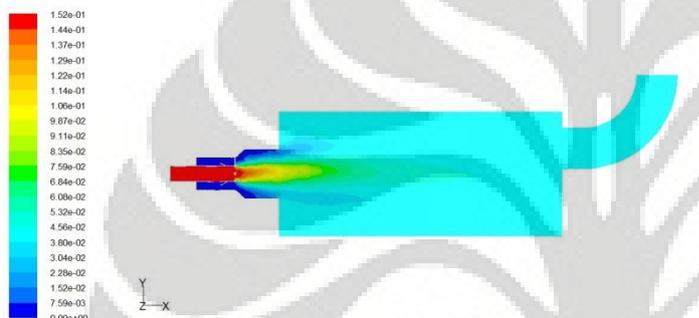
➤ Kadar Carbon monoksida

Swirl 6



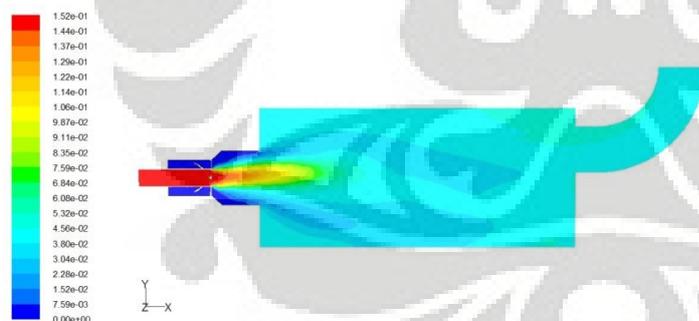
Contours of Mass fraction of co Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 8



Contours of Mass fraction of co Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

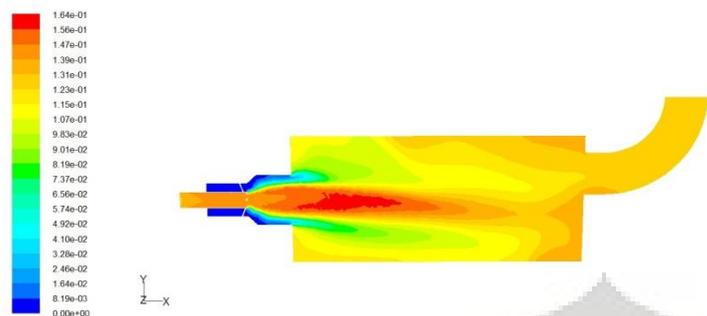
Swirl 10



Contours of Mass fraction of co Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

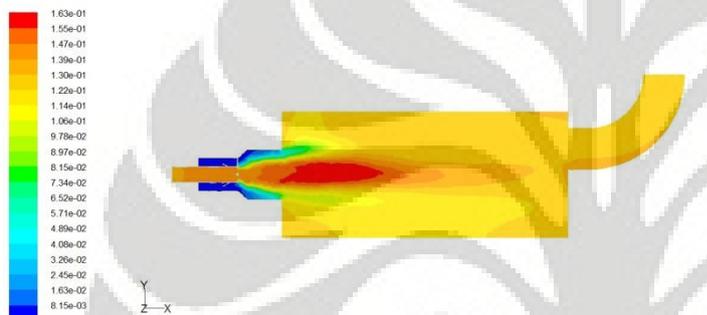
➤ Kadar Carbon dioksida

Swirl 6



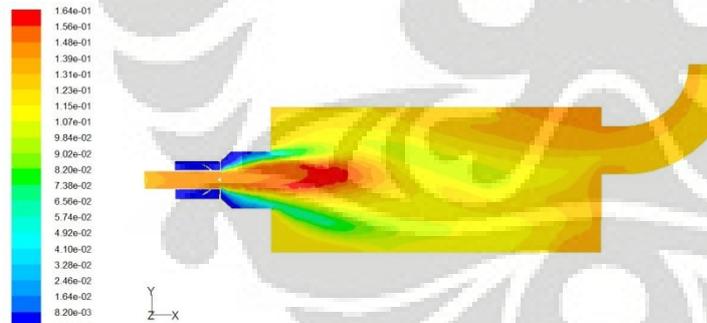
Contours of Mass fraction of co2  
 Jun 23, 2010  
 FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 8



Contours of Mass fraction of co2  
 Jun 22, 2010  
 FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

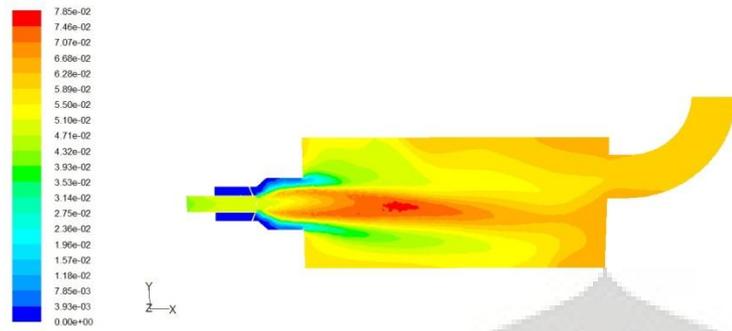
Swirl 10



Contours of Mass fraction of co2  
 Jun 22, 2010  
 FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ uap air

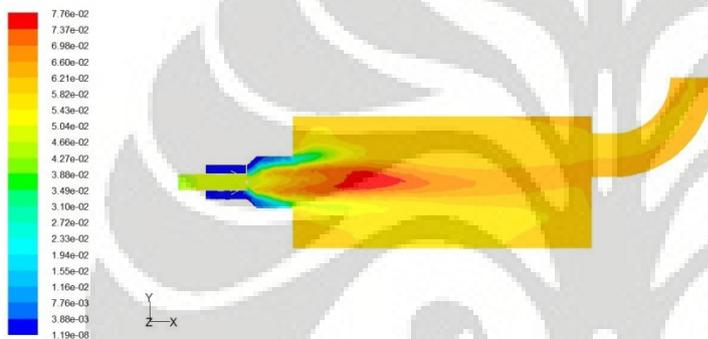
### swirl 6



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

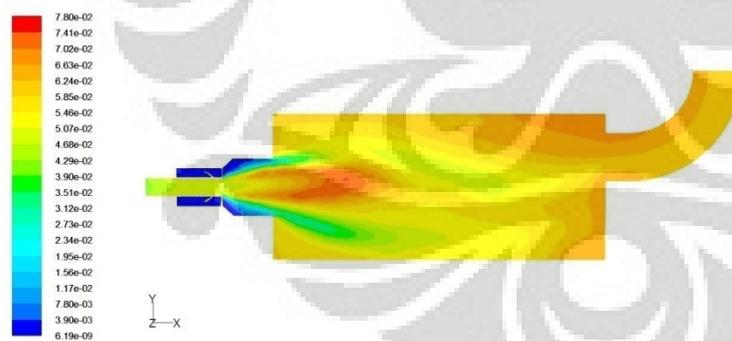
### Swirl 8



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

### Swirl 10



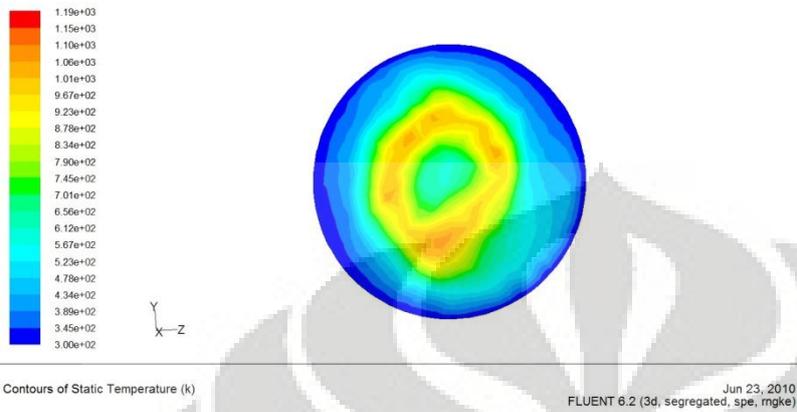
Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

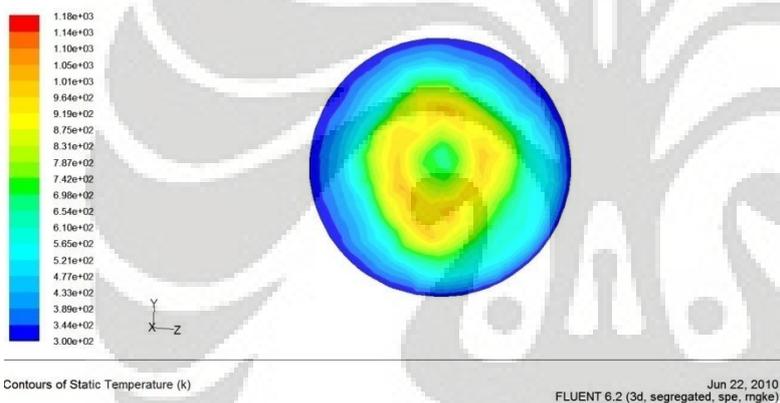
## 2. Plane x = 0,05

### ➤ Temperatur

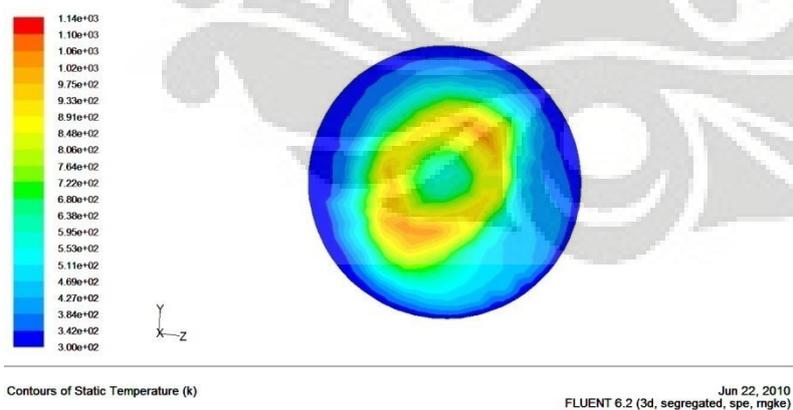
#### Swirl 6



#### Swirl 8

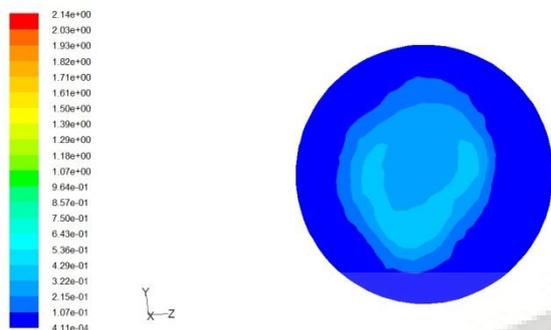


#### Swirl 10



➤ Turbulence Kinetic energy

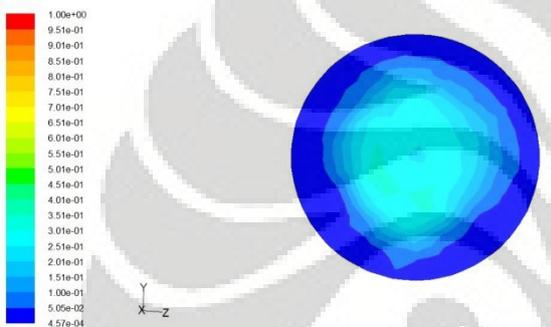
Swirl 6



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

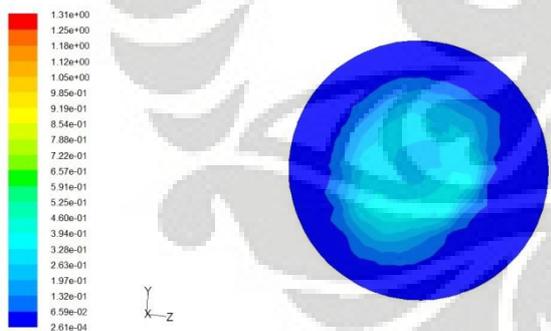
Swirl 8



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10

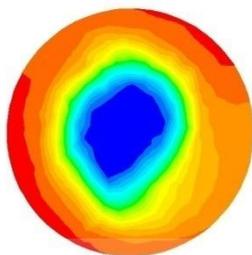
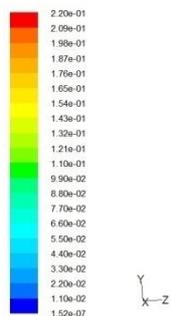


Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ Oksigen

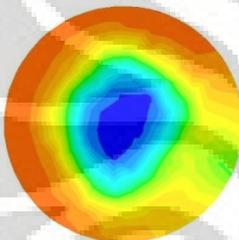
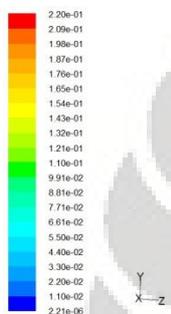
Swirl 6



Contours of Mass fraction of o2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

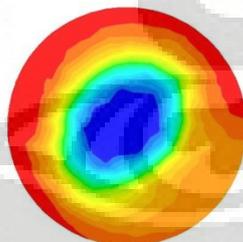
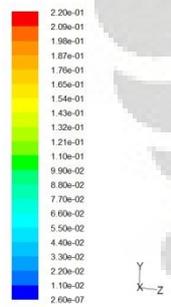
Swirl 8



Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10

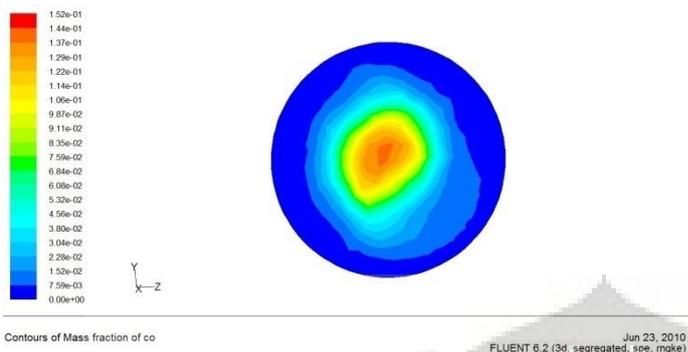


Contours of Mass fraction of o2

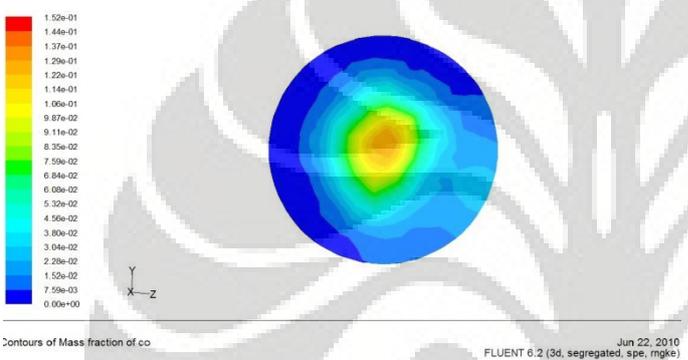
Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ Carbon monoksida

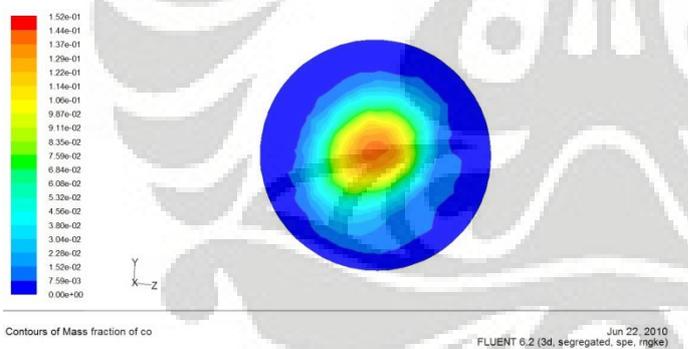
Swirl 6



Swirl 8

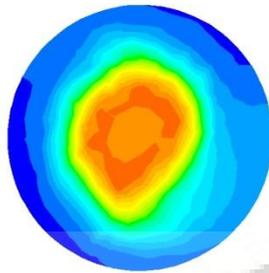


Swirl 10



➤ Carbon Dioksida

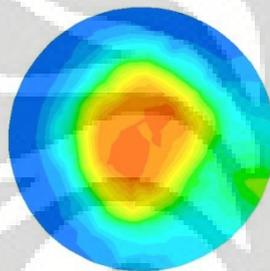
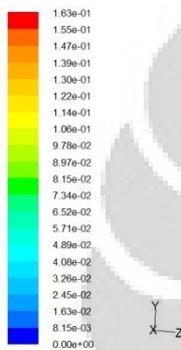
Swirl 6



Contours of Mass fraction of co2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

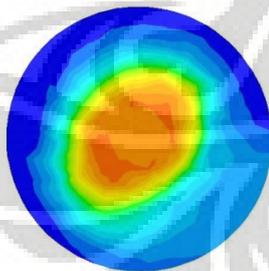
Swirl 8



Contours of Mass fraction of co2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10

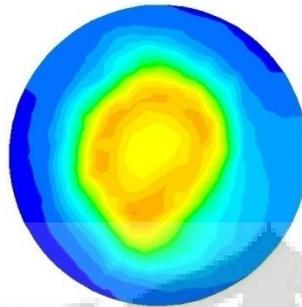


Contours of Mass fraction of co2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ Uap Air.

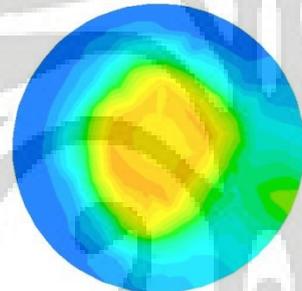
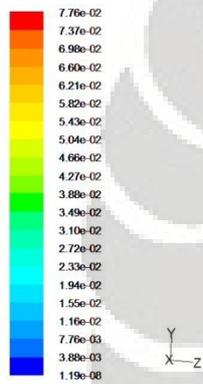
Swirl 6



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

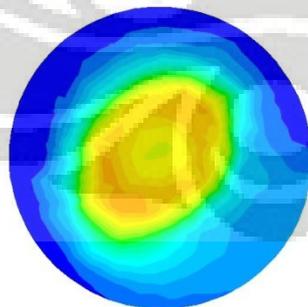
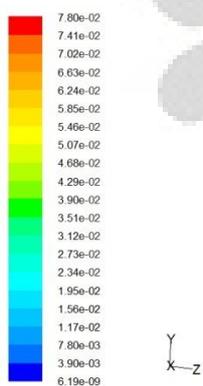
Swirl 8



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10



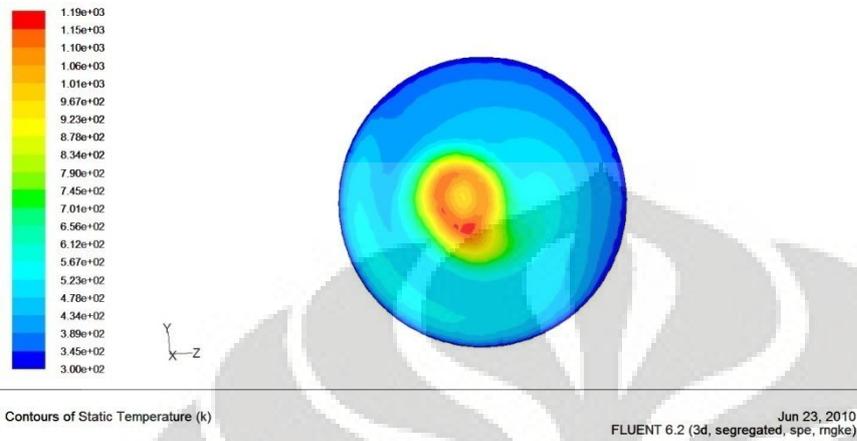
Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

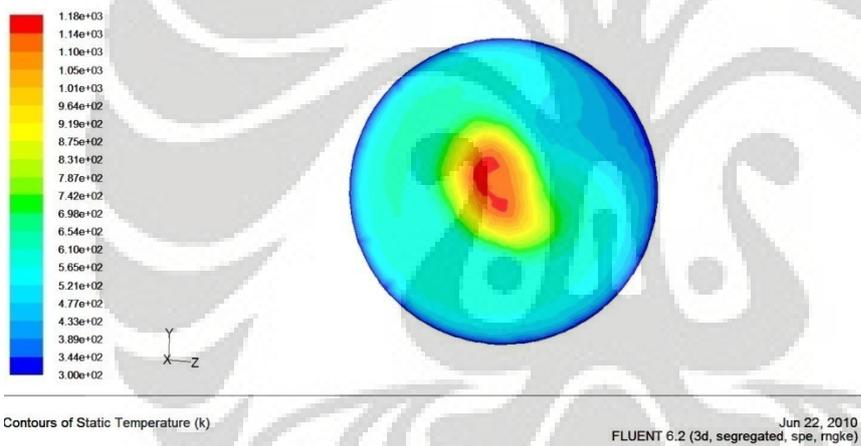
### 3. Plane x = 0,2

#### ➤ Temperatur

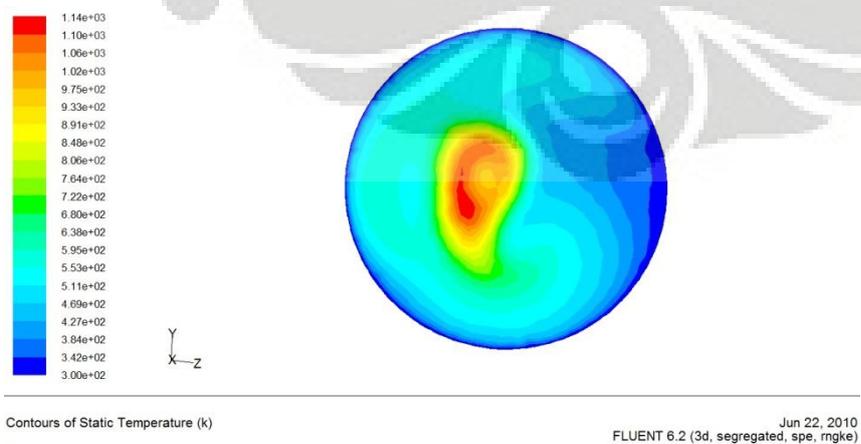
##### Swirl 6



##### Swirl 8

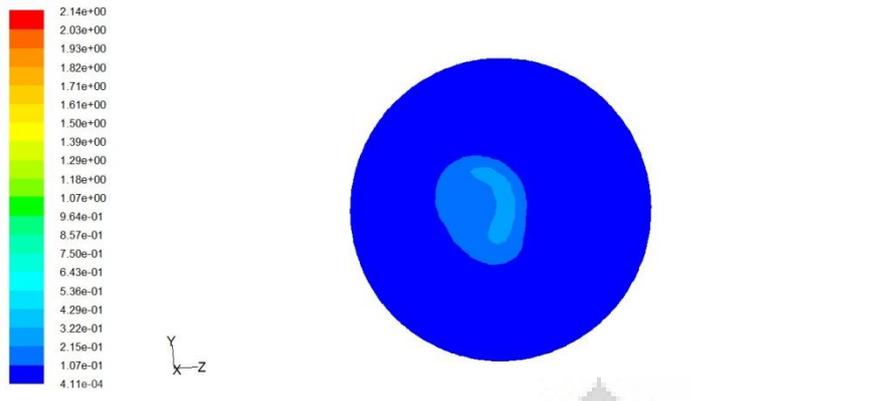


##### Swirl 10



#### ➤ Turbulance kinetik energy

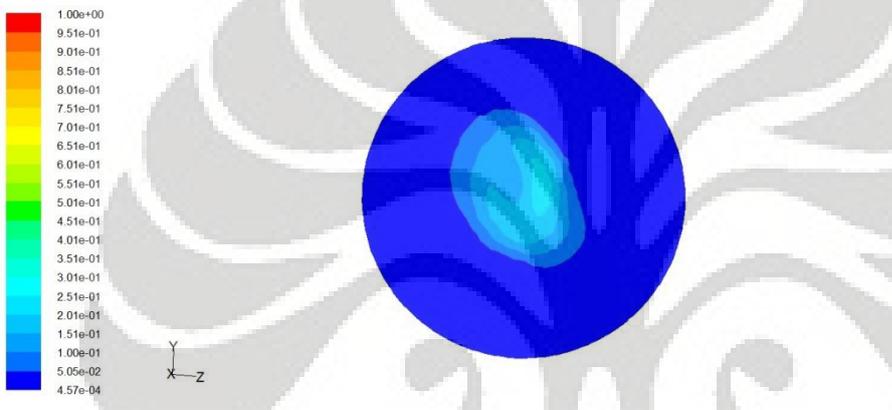
##### Swirl 6



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

**Swirl 8**



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

**Swirl 10**

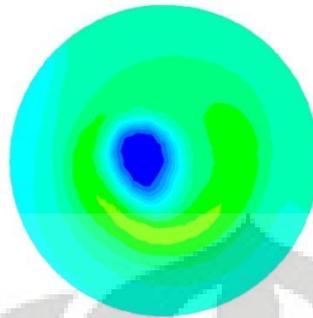
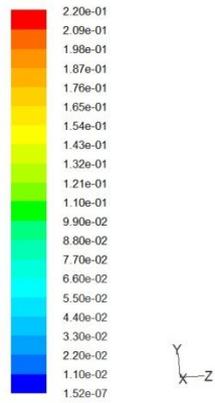


Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

➤ Kadar Oksigen

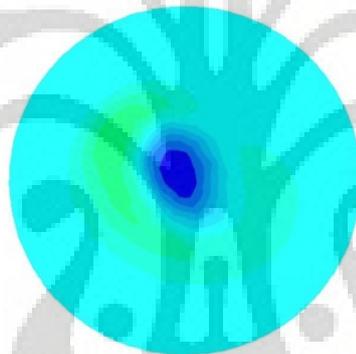
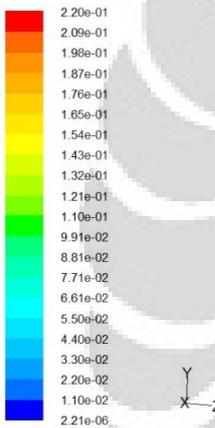
Swirl 6



Contours of Mass fraction of o2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

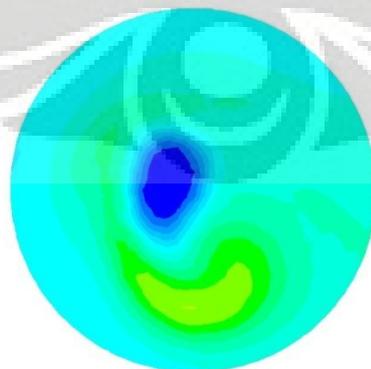
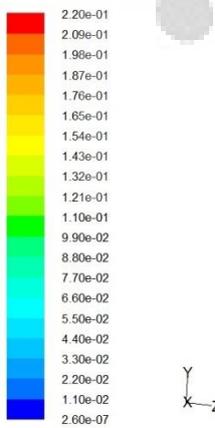
Swirl 8



Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10

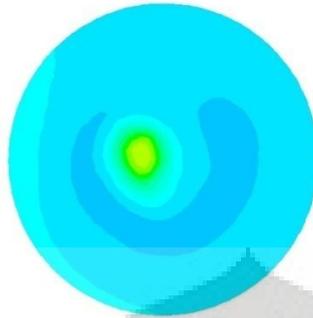


Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Kadar Carbon Monoksida

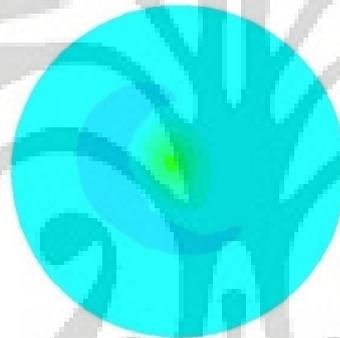
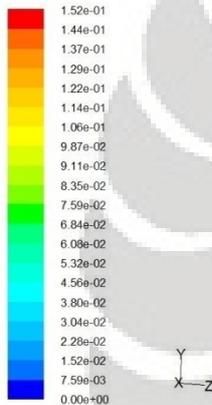
Swirl 6



Contours of Mass fraction of co

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

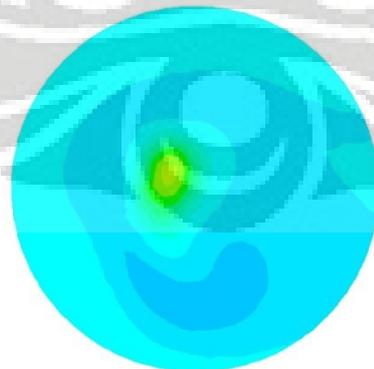
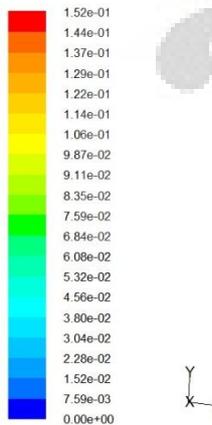
Swirl 8



Contours of Mass fraction of co

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10

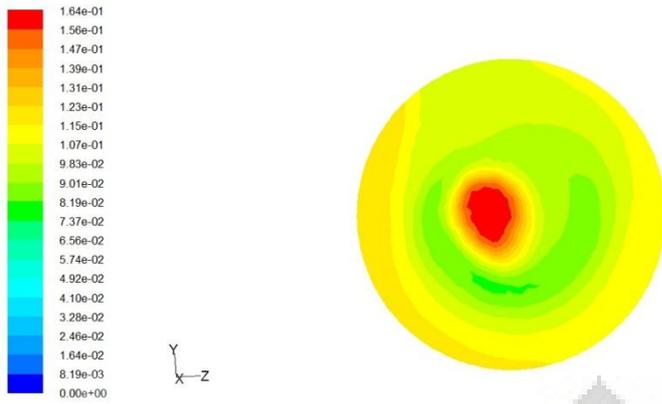


Contours of Mass fraction of co

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Carbon dioksida

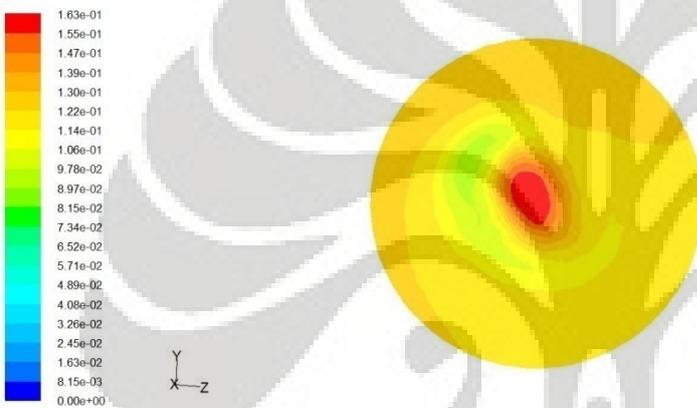
Swirl 6



Contours of Mass fraction of co2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

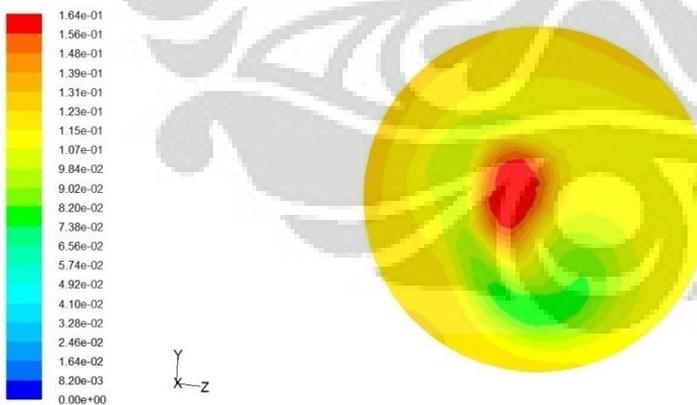
### Swirl 8



Contours of Mass fraction of co2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

### Swirl 10

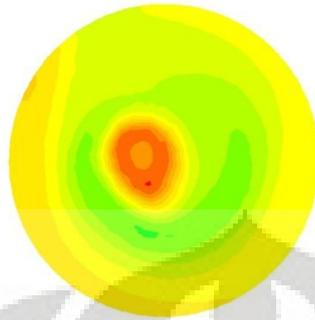
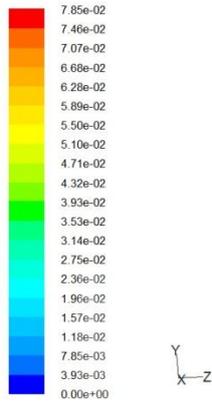


Contours of Mass fraction of co2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Uap air

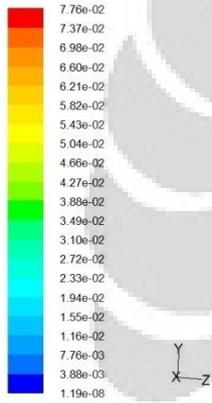
Swirl 6



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

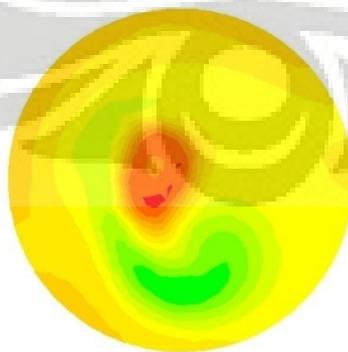
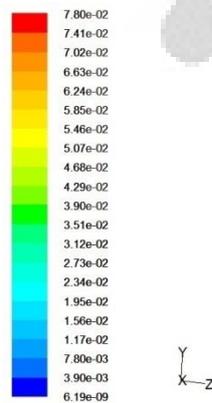
Swirl 8



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10



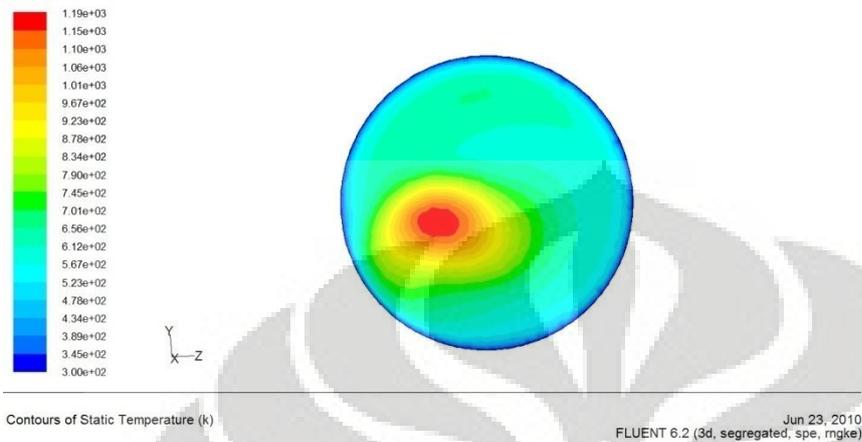
Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

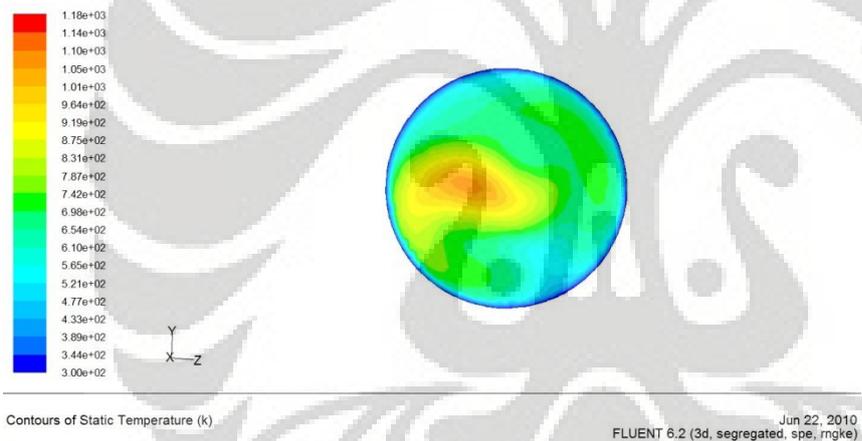
4. Plane 0,5

➤ Temperatur

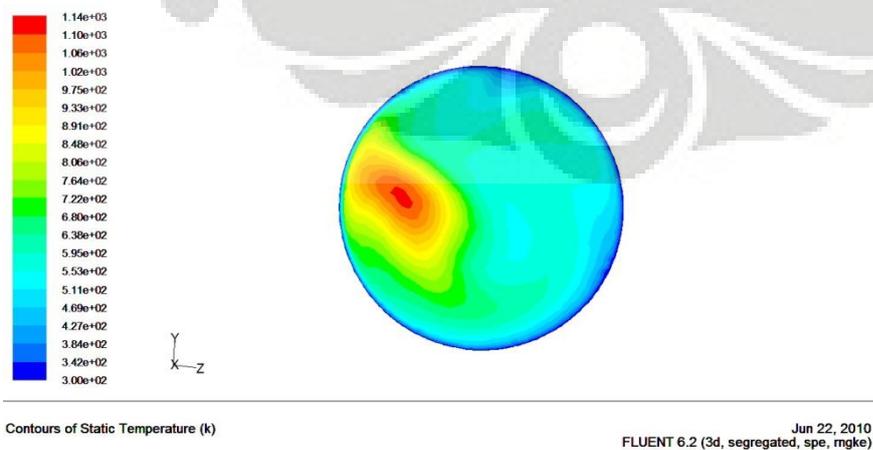
Swirl 6



Swirl 8

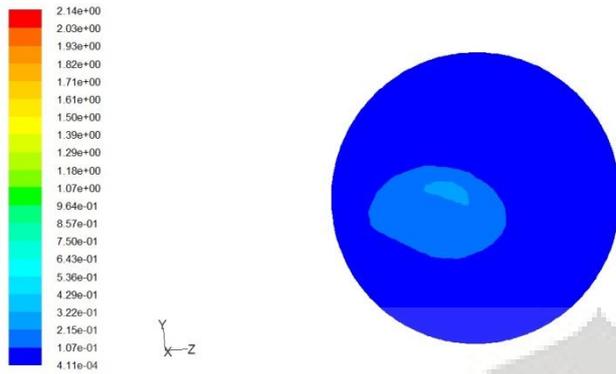


Swirl 10



➤ Turbulance kinetic energy

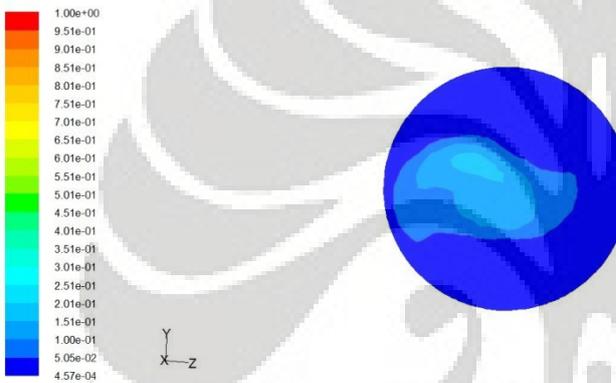
**Swirl 6**



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

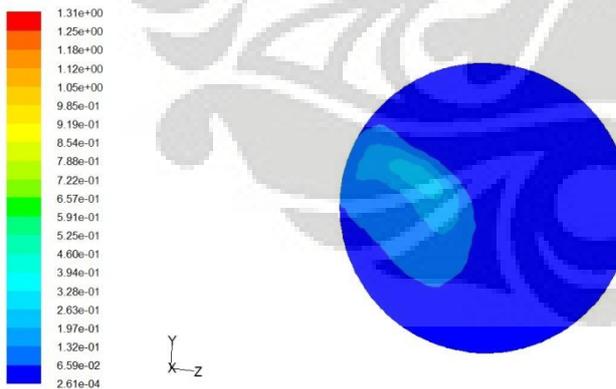
**Swirl 8**



Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

**Swirl 10**

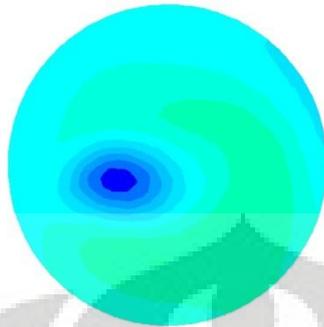
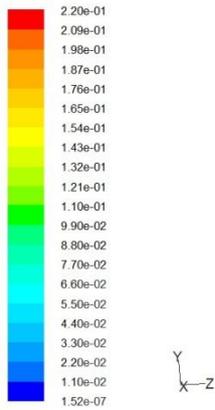


Contours of Turbulence Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Kadar Oksigen

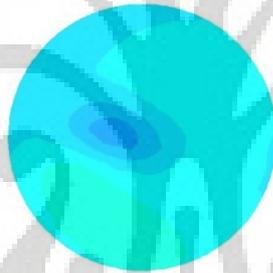
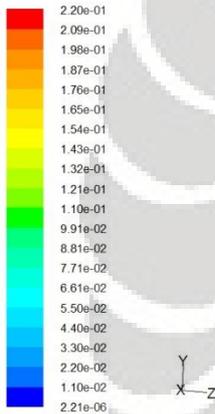
Swirl 6



Contours of Mass fraction of o2

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

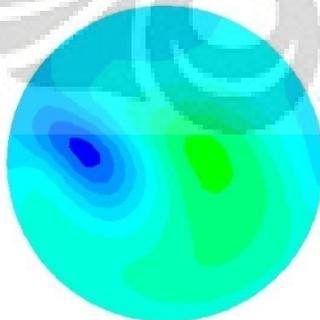
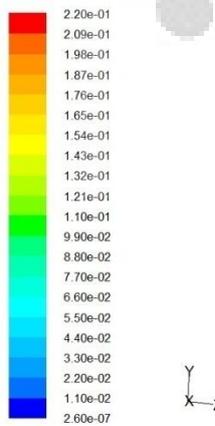
Swirl 8



Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10

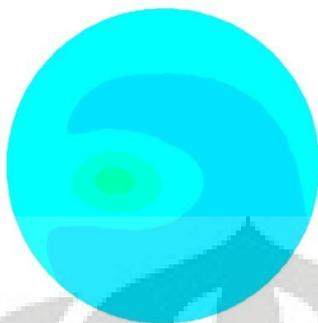


Contours of Mass fraction of o2

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Carbon Monoksida

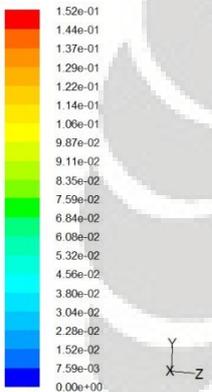
Swirl 6



Contours of Mass fraction of co

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

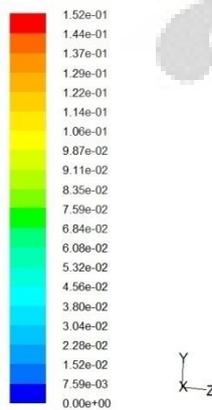
Swirl 8



Contours of Mass fraction of co

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

Swirl 10

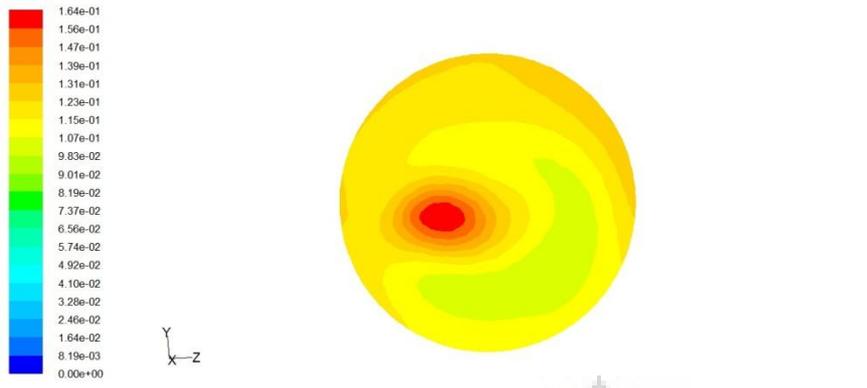


Contours of Mass fraction of co

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Carbon Dioksida

Swirl 6



Contours of Mass fraction of co2 Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

**Swirl 8**



Contours of Mass fraction of co2 Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

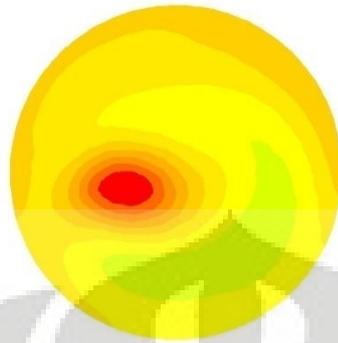
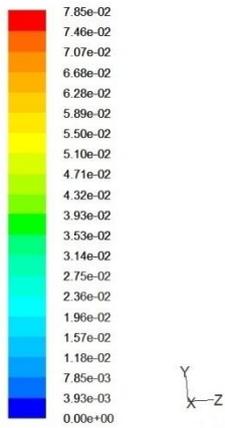
**Swirl 10**



Contours of Mass fraction of co2 Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, rngke)

➤ Uap air.

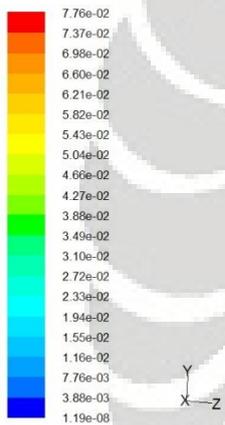
Swirl 6



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 23, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

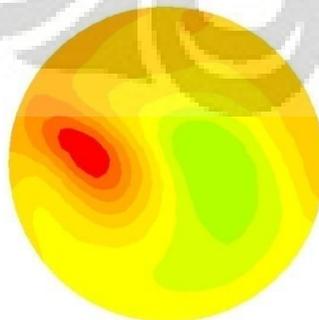
Swirl 8



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)

Swirl 10



Contours of Mass fraction of h2o

Jun 22, 2010  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, spe, mgke)