



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN GAS HASIL
GASIFIKASI BIOMASSA PADA GAS BURNER TANPA KONIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MUHAMMAD RAZI
04 05 02 04 99**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

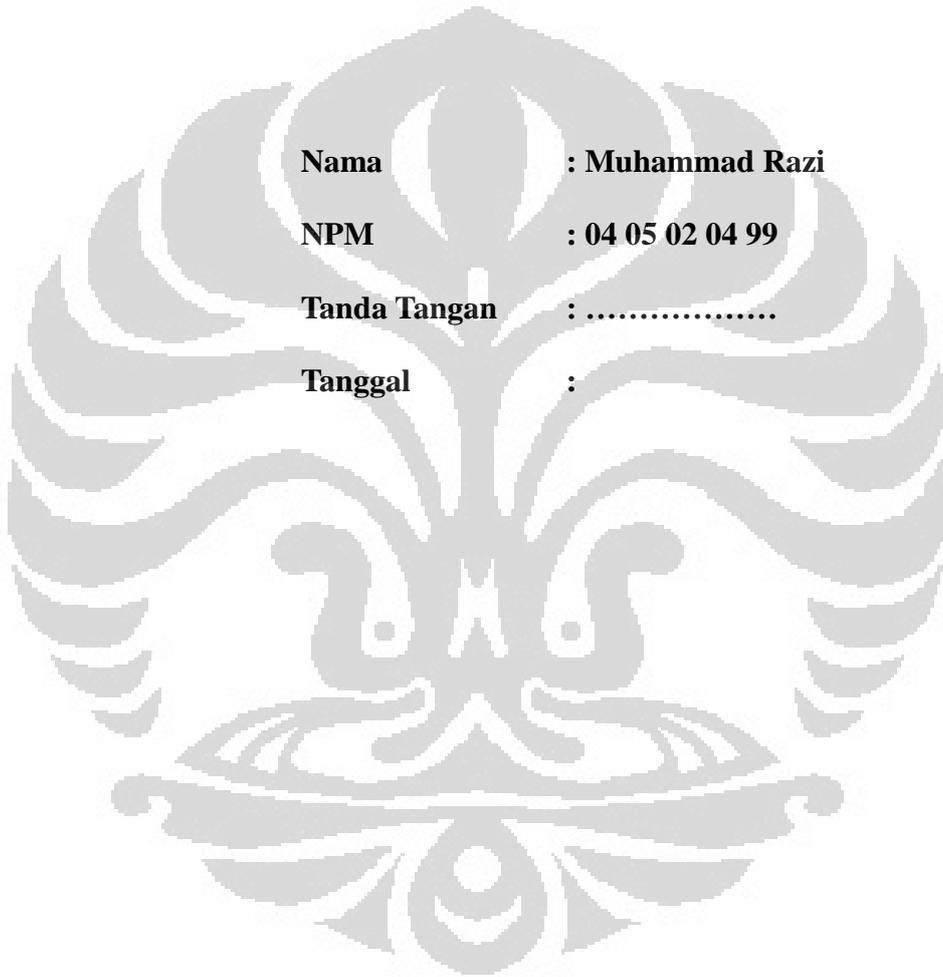
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Muhammad Razi

NPM : 04 05 02 04 99

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Razi
NPM : 04 05 02 04 99
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : SIMULASI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN
GAS HASIL GASIFIKASI BIOMASSA
PADA GAS BURNER TANPA KONIS

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 Surjosatyo ()
Penguji : Prof. Dr. I Made K Dhiputra Dipl.-Ing ()
Penguji : Ir. Yulianto Sulistyono, M.Sc., Ph.D ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 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) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- 3) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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, 26 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muhammad Razi

NPM : 04 05 02 04 99

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**SIMULASI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN GAS HASIL GASIFIKASI
BIOMASSA PADA GAS BURNER TANPA KONIS**

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 :

Yang menyatakan

(Muhammad Razi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Razi
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa pada Gas Burner Tanpa Konis

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. Belum banyak yang meneliti mengenai karakteristik api yang dihasilkan. Selain itu, api yang dihasilkan dari burner yang ada belum merata ke seluruh ruang bakar. Salah satu cara untuk membantu penyebaran api adalah dengan menambahkan konis yang terletak ditengah selubung inlet dari *syngas*. Pada skripsi ini akan dilakukan simulasi gas burner tanpa konis yang menggunakan bahan bakar dari gasifikasi biomassa untuk mengetahui pengaruh dari konis tersebut terhadap penyebaran api yang dihasilkan dan untuk membandingkan dengan burner yang menggunakan konis

Ada beberapa parameter yang perlu diasumsikan agar simulasi berjalan lancar, antara lain adalah fraksi massa dari *syngas* tetap, yaitu N₂ 51,5%, CO 25%, H₂ 12%, dan CH₄ 1,5%. Dengan kecepatan *syngas* dan udara 1 m/s dan variasi 3 m/s, 6m/s, 9m/s. Temperatur *syngas* dan udara adalah 473K dan 303K. Sudut konis adalah sebesar 90°. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa dengan adanya konis, belum tentu menghasilkan api yang lebih merata pada ruang bakar.

Kata kunci
Gas burner, CFD, Fraksi Massa

ABSTRACT

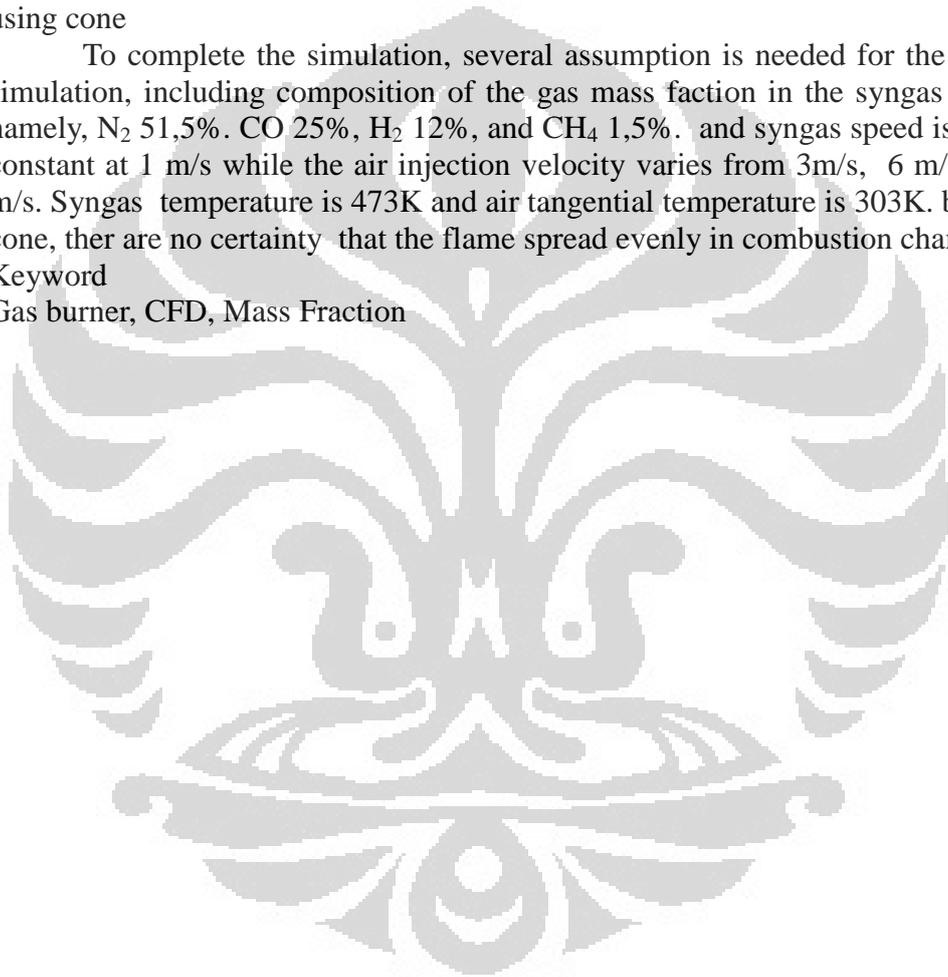
Name : Muhammad Razi
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Simulation of Biomass Gasification Combustion
Characteristics in Gas Burner Without Cone

Gas burner is end process of gasification that works for mixing fuel with air to form the burning flame. There are not much research about flame characteristic that produced. A method that can help flame spread evenly is using cone in the middle of inlet of syngas. In this thesis will be simulated gas burner without cone that using fuel from biomass gasification to compare with burner using cone

To complete the simulation, several assumption is needed for the sake of simulation, including composition of the gas mass fraction in the syngas remain, namely, N_2 51,5%, CO 25%, H_2 12%, and CH_4 1,5%. and syngas speed is remain constant at 1 m/s while the air injection velocity varies from 3m/s, 6 m/s, dan 9 m/s. Syngas temperature is 473K and air tangential temperature is 303K. by using cone, ther are no certainty that the flame spread evenly in combustion chamber.

Keyword

Gas burner, CFD, Mass Fraction



DAFTAR ISI

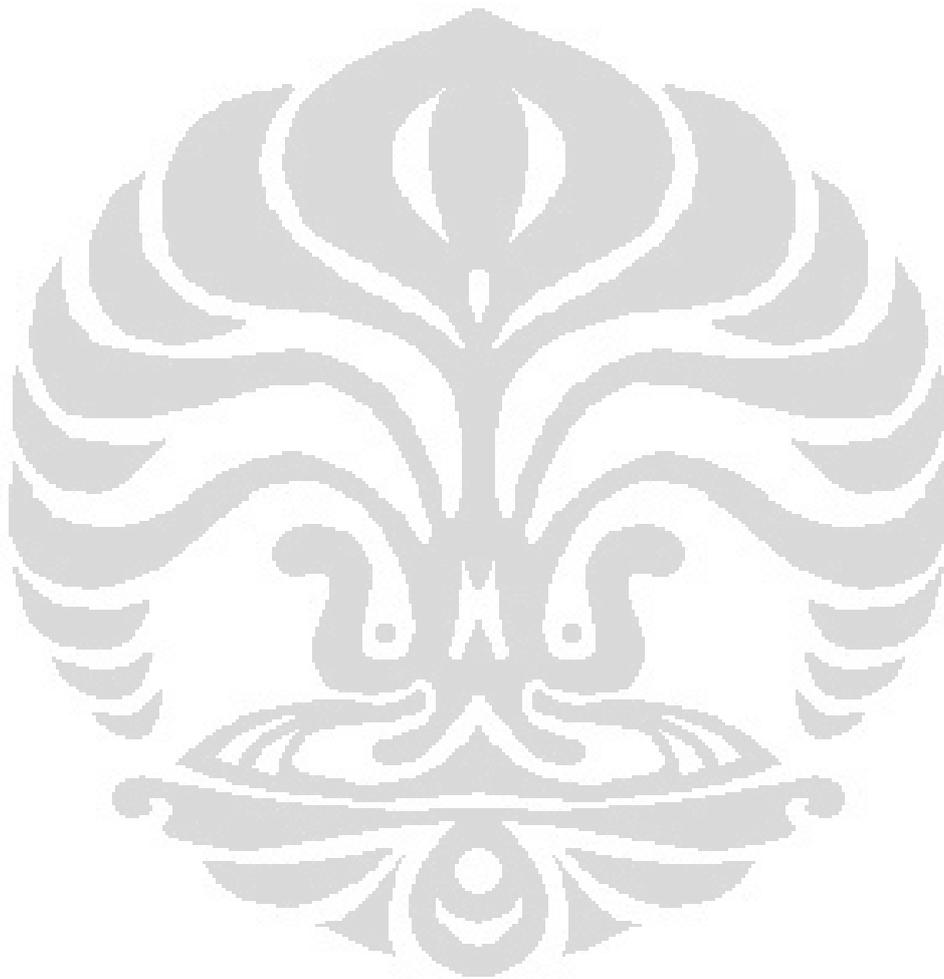
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Judul Penelitian	1
1.2 Latar Belakang Masalah	1
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI	6
2.1 Biomassa	6
2.2 Gas Burner.....	7
2.3 Komposisi Syngas Dan Injeksi Udara Tangensial.....	12
2.4 Kualitas Percampuran.....	13
2.4.1 Swirl Number	14
2.5 Teknik Komputasi.....	20
2.6 Gasifikasi Biomassa	21
BAB 3 PEMODELAN	23
3.1 Pemodelan	23
3.2 Disain Gas Burner	24
3.2.1 Gas Burner	26
3.2.2 Konis	27
3.2.3 Swirl.....	28

3.2.4 Inlet Bahan Bakar.....	29
3.3 Mesh Dan Boundary.....	30
3.4 Prosedur Simulasi.....	32
3.4.1 Grid	32
3.4.2 Models.....	33
3.4.3 Materials.....	34
3.4.4 Boundary Condition.....	36
3.4.4 Operating Condition.....	38
Bab 4 HASIL DAN ANALISA.....	39
4.1 Hasil.....	39
4.1.1 Temperatur	40
4.1.2 Kadar Co	45
4.1.3 Kadar O2	48
4.1.4 Turbulence Intensity.....	51
4.2 Analisa.....	55
BAB 5 Kesimpulan dan Saran	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58
REFERENSI	59
LAMPIRAN	60
Lampiran 1 Hasil Simulasi Gas Burner Menggunakan Konis	61
1. TEMPERATUR.....	61
2 KADAR CO	65
3 KADAR O2.....	67
4 INTENSITAS TURBULEN.....	70
Lampiran 2 Foto Hasil Percobaan di Laboratorium Gasifikasi DTM-FTUI	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skematik Burner.....	2
Gambar 2.1 Skematik Siklus Biomassa	6
Gambar 2.2 Skematik Sistem Gasifikasi.....	7
Gambar 2.3 Skematik Non-Premixed Burner Skala Lab	9
Gambar 2.4 Penampang Outlet Udara dan Produser Gas pada <i>Cyclone Chamber</i>	12
Gambar 2.5 Kecepatan dan Tekanan Ketika Melewati Difuser	13
Gambar 2.6 Zona Resirkulasi pada Pusaran	15
Gambar 2.7 Zona Resirkulasi pada Non-Premixed Swirl Burner.....	16
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.....	17
Gambar 2.9 Skematik Non-Premixed Swirl Burner, Quarl, dan Combustion Chamber	19
Gambar 3.1 Sistem Gas Burner.....	24
Gambar 3.2 Tampak Samping Sistem Gas Burner.....	25
Gambar 3.3 Tampak Depan Sistem Gas Burner	25
Gambar 3.4 Pemodelan Gas Burner dengan Software Solidwoks	25
Gambar 3.5 Dimensi Gas Burner	26
Gambar 3.6 Pemodelan Konis.....	27
Gambar 3.7 Dimensi Konis.....	27
Gambar 3.8 Pemodelan Swirl	27
Gambar 3.9 Dimensi Swirl.....	28
Gambar 3.10 Pemodelan Inlet Bahan Bakar	29
Gambar 3.11 Dimensi Inlet Bahan Bakar	29
Gambar 3.12 Penyederhanaan Model Gas Burner	30
Gambar 3.13 Hasil Meshing dengan Interval Size 20 dan Gambar Jendela Meshing.....	31
Gambar 3.14 Hasil Meshing 31 Gambar 3.15 Grid pada Software Fluent.....	32
Gambar 3.16 Jendela untuk Mendefinisikan Solver yang Digunakan.....	33
Gambar 3.17 Jendela untuk Meng-aktifkan Persamaan Energi	33
Gambar 3.18 Jendela untuk Mengaktifkan Model Turbulensi.....	33
Gambar 3.19 Jendela untuk Mengaktifkan Spesies Kimia Reaksi dan Perpindahan..	34
Gambar 3.20 Jendela untuk Men-definisikan Material dan Reaksi	34
Gambar 3.21 Jendela untuk Memasukkan Reaksi yang Ada	36
Gambar 3.22 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Bahan Bakar	36
Gambar 3.23 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Udara	37
Gambar 3.24 Jendela untuk Memasukkan Parameter pada Dinding	38
Gambar 3.25 Jendela untuk Mengaktifkan Parameter Kondisi Kerja dengan Gaya Gravitasi	38
Gambar 4.1 Beberapa Plane yang Akan Dilihat Hasilnya, yaitu Plane Tengah dan dari Kiri Plane $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$, dan $x=0.75$	40
Gambar 4.2 Kontur Temperatur dan Aliran Temperatur pada kecepatan 3 m/s.....	42
Gambar 4.3 Kontur Temperatur dan Aliran Temperatur pada kecepatan 6 m/s.....	43

Gambar 4.4 Kontur Temperatur dan Aliran Temperatur pada kecepatan 9 m/s.....	44
Gambar 4.5 Kontur Intensitas Turbulen pada kecepatan 3 m/s	44
Gambar 4.6 Kontur Intensitas Turbulen pada kecepatan 6 m/s	44
Gambar 4.7 Kontur Intensitas Turbulen pada kecepatan 9 m/s	44
Gambar 4.8 Kontur Kadar O ₂ pada kecepatan 3 m/s	47
Gambar 4.9 Kontur Kadar O ₂ pada kecepatan 6 m/s	47
Gambar 4.10 Kontur Kadar O ₂ pada kecepatan 9 m/s	47
Gambar 4.11 Kontur Intensitas Turbulen pada Kecepatan 3 m/s.....	50
Gambar 4.12 Kontur Intensitas Turbulen pada Kecepatan 6 m/s.....	50
Gambar 4.12 Kontur Intensitas Turbulen pada Kecepatan 9 m/s.....	50



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Profil Temperatur Gas Burner.....	41
Grafik 4.2 Profil Temperatur pada Plane X = 0,3	44
Grafik 4.3 Profil Temperatur pada Plane X = 0,4	45
Grafik 4.4 Profil Temperatur pada Plane X = 0,5	45
Grafik 4.5 Profil Temperatur pada Plane X = 0,75	46
Grafik 4.6 Profil Kadar CO pada plane X=0,3	48
Grafik 4.7 Profil Kadar CO pada plane X=0,4	48
Grafik 4.8 Profil Kadar CO pada plane X=0,5	49
Grafik 4.9 Profil Kadar CO pada plane X=0,75	49
Grafik 4.10 Profil Kadar O ₂ pada plane X=0,3.....	51
Grafik 4.11 Profil Kadar O ₂ pada plane X=0,4.....	51
Grafik 4.12 Profil Kadar O ₂ pada plane X=0,5.....	52
Grafik 4.13 Profil Kadar O ₂ pada plane X=0,75.....	52
Grafik 4.14 Profil Intensitas Turbulen pada Plane X=0,3.....	54
Grafik 4.15 Profil Intensitas Turbulen pada Plane X=0,4.....	54
Grafik 4.16 Profil Intensitas Turbulen pada Plane X=0,5.....	55
Grafik 4.17 Profil Intensitas Turbulen pada Plane X=0,75.....	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Judul Penelitian

Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa Pada Gas Burner Tanpa Konis

1.2 Latar Belakang Masalah

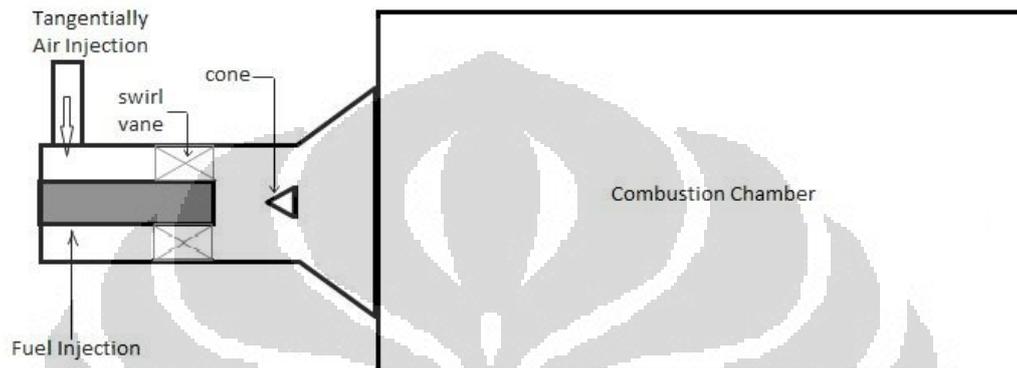
Dewasa ini permasalahan dunia yang sering menjadi pembicaraan umum adalah mengenai krisis energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya cadangan energi fosil yang jumlahnya sangat terbatas. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu solusi untuk mengatasi kebutuhan akan energi fosil yang terus meningkat serta teknologi yang bisa digunakan untuk menggantikan teknologi yang memanfaatkan bahan bakar fosil yang sekarang ini. Salah satu sumber energi yang bisa digunakan sebagai pengganti energi fosil adalah energi yang berasal dari Biomassa.

Biomassa merupakan sejenis 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.

Gasifikasi biomassa adalah proses pembakaran yang tidak sempurna dari biomassa yang menghasilkan gas buang yang sebagian besar terdiri dari Carbon Monoksida (CO), Hidrogen (H₂) dan sebagian kecil Metana (CH₄). Campuran dari senyawa tersebut disebut juga dengan *syngas*. Hasil gas tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menjalankan gas burner.

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.

Salah satu proses dari gasifikasi yang penting untuk mengubah energi yang terkandung di dalam biomassa menjadi energi lain adalah pada bagian gas burner. Pada bagian ini, gas hasil gasifikasi biomassa (*syngas*) dicampur dengan udara agar mampu dibakar. Di dalam burner tersebut, *syngas* dan udara dicampur. Setelah pencampuran, gas tersebut dibakar di dalam *Combustion Chamber*.



Gambar 1.1 Skematik Burner

Api yang dihasilkan dari reaksi pembakaran tersebut akan mengisi *Combustion Chamber* dan karakteristik api tersebut akan mempengaruhi panas yang dihasilkan. Semakin menyebar api yang dihasilkan maka akan semakin merata api yang dihasilkan. Salah satu komponen yang mempengaruhi penyebaran api tersebut adalah konis atau *cone*.

Salah satu cara untuk mengetahui karakteristik api yang dihasilkan ini, adalah dengan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamic*). CFD merupakan suatu pembelajaran dan analisis aliran fluida di dalam sistem dengan menggunakan metode algoritma numerik, yang menggunakan komputer.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan di laboratorium, terlihat beberapa kekurangan antara lain adalah :

1. Pembakaran terlihat tidak sempurna (terlihat secara visual asap putih yang) tidak terbakar berada ditengah-tengah api.
2. Sudah pernah dilakukan analisa aliran dingin(cold flow simulation) pada penelitian sebelumnya, tetapi belum dilakukan analisa karakteristik pembakaran.
3. Untuk mengetahui pengaruh beda kecepatan injeksi udara tangensial terhadap fungsi jarak pada gas burner terhadap hasil reaksi pembakaran.
4. Melihat hasil pembakaran pada geometri combustion unit yang ditambahkan setelah geometri burner.
5. Melihat pengaruh ditambahkan konis pada konstruksi burner.

1.4 Tujuan Penelitian

Meningkatkan kualitas gas burner yang ada dengan mengetahui fenomena reaksi pembakaran yang terjadi melalui simulasi. Simulasi yang sudah pernah dilakukan sebelumnya baru terfokus pada *cold flow*, jadi sekarang akan dilakukan analisa *hot flow* Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis bermaksud memfokuskan penelitian untuk mendapatkan hasil sebagai berikut :

1. Mengetahui kualitas percampuran antara syngas dengan injeksi udara tangensial yang dilakukan.
2. Melakukan beberapa simulasi, dengan bervariasi kecepatan injeksi udara tangensial. Yang diharapkan akan ditemukan kecepatan optimal injeksi udara tangensial.
3. Melihat karakteristik dan fenomena yang terjadi dari hasil pembakaran.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang dilakukan, agar penelitian ini lebih terfokus adalah

1. Dimensi dasar dari gas burner yang ada tidak dilakukan modifikasi, ditambahkan sebuah combustion unit sebagai domain dari hasil pembakaran.
2. Kecepatan syngas tetap 1 m/s

3. Kecepatan injeksi udara tangensial bervariasi mulai dari 0 m/s, 3 m/s, 4.5 m/s, 6 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s.
4. Syngas terdiri dari CO, H₂, O₂, CO₂, CH₄, dan N₂ yang diasumsikan berfraksi massa tertentu. Diperolehnya komposisi ini didapat dari percobaan.
5. Software untuk keperluan simulasi menggunakan solidwork untuk membuat bangun burner, gambit untuk melakukan proses meshing, dan fluent untuk melakukan komputasi.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memilih objek penelitian
2. Melakukan studi literatur
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
7. Membuat kesimpulan

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis akan membagi dalam enam 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), dasar pemodelan dan CFD (computational fluid dynamic), Komposisi syngas dan injeksi udara tangensial, gasifikasi

biomassa, kualitas percampuran (kecepatan dan swirl number), reaksi pembakaran, teknik komputasi (Solidworks, Gambit dan Fluent)

BAB 3 PEMODELAN, berisi :

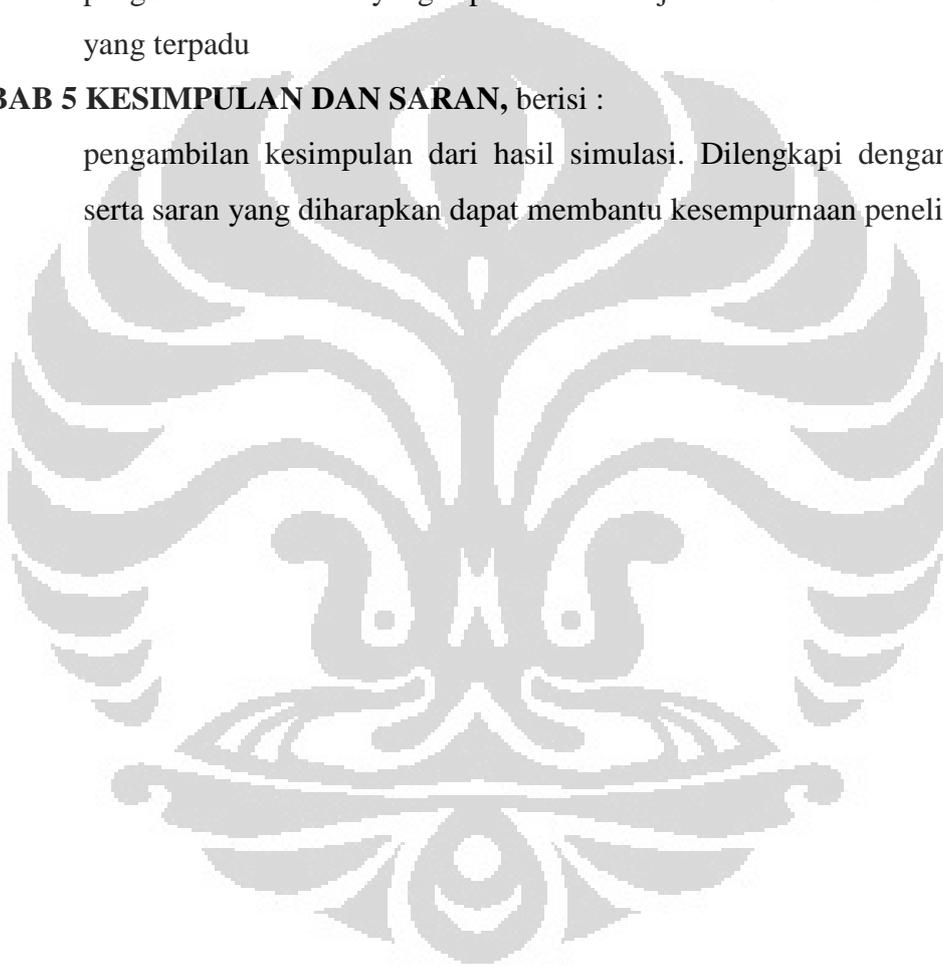
tahapan-tahapan dalam mensimulasikan burner : menggambar burner di Solidworks 2007, mengimport ke GAMBIT, dan melakukan simulasi di FLUENT.

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.



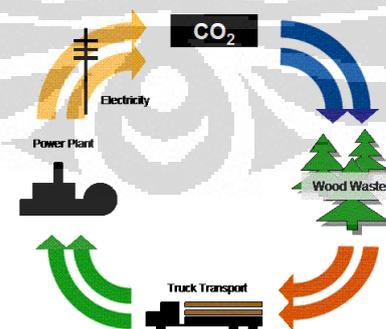
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Biomassa

Energy biomassa merupakan energy yang didapatkan dari sinar matahari yang kemudian ditangkap oleh materi organic seperti tumbuhan ataupun hewan. Sumber dari biomassa terdiri dari :

1. Residu dari perhutanan (sampah hijau dari limbah penggergajian kayu, dan juga limbah vegetative dan kayu).
2. Tumbuhan pertanian yang khusu ditujukan untuk kepentingan energy dan juga limbah agrikultur.
3. Konstruksi kayu dan limbah reruntuhan kayu.
4. Kotoran binatang
5. Limbah etanol
6. Limbah perkotaan dalam bentuk limbah padat (sampah lumpur atau materi organic)
7. Gas dari dalam tanah
8. Limbah industri yang lainnya (sampah kertas dari proses daur ulang)



Gambar 2.2 skematik siklus biomassa

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

Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar biomassa memerlukan energy yang tersimpan di dalam materi organic untuk memproduksi tenaga yang bersih dan mampu diperbarharui. Pembangkit listrik tenaga biomass menggunakan materi tersebut sebagai bahan bakar. Materi tersebut dibakar di bawah kendali, menghasilkan emisi yang rendah untuk menghasilkan energy listrik. Energy 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.energy.com/biomass>)

2.2 Gas Burner

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.

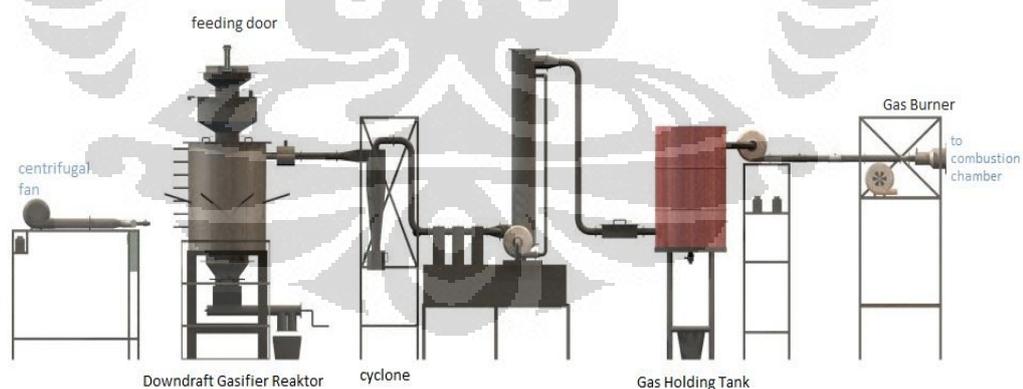


Figure 2.2 Skematik Sistem Gasifikasi

Gas burner pada instalasi gasifikasi memiliki beberapa peran yang sangat berpengaruh terhadap optimasi pendayagunaan gas yang telah dihasilkan melalui proses gasifikasi. Adapun fungsi burner secara keseluruhan adalah

1. Untuk mencampur gas hasil gasifikasi dengan udara dengan seimbangny jumlah gas dan udara pada pembakaran sehingga pembakaran yang dihasilkan dapat optimal
2. Untuk dapat memposisikan nyala api pada daerah yang dikehendaki sehingga dapat memindahkan panas hasil pembakaran pada combustion chamber.
3. Untuk memulai dan menjaga pengapian pada sistem gasifier yaitu gas yang dihasilkan

Pada umumnya tujuan dari diadakannya gas burner adalah untuk memanfaatkan gas hasil gasifikasi agar dapat mendapatkan nyala api pembakaran yang baik yang akan dimanfaatkan untuk keperluan khusus.

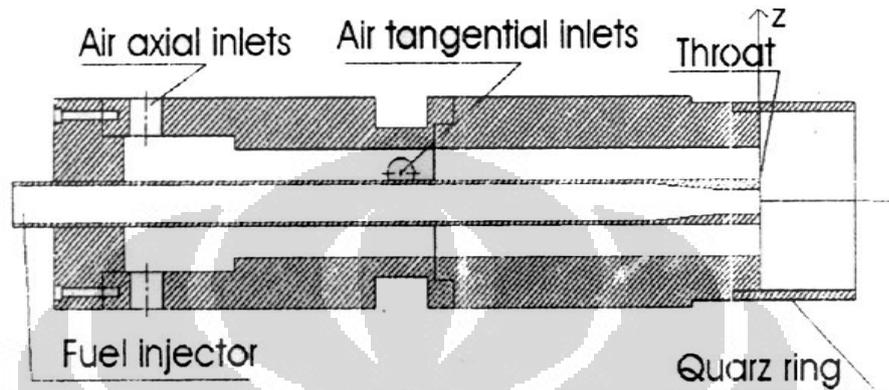
Giulio Solero (berdasar penelitian oleh Chen. RH dan Claypole TC and Syred N) menyatakan bahwa aliran pusaran tanpa pencampuran awal (non-premixed) secara luas digunakan di industri-industri yang mempergunakan sistem pembakaran, khususnya turbin-turbin gas, boiler-boiler dan tungku-tungku pembakaran/perapian sebab alasan keamanan dan kestabilan. Pusaran meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara, memperbaiki kestabilan nyala (flame stabilisation) 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 penggunaanya 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 setting yang mungkin pada fenomena kestabilan dalam tipe aliran.

Sebuah kondisi/ciri utama pada intensitas pusaran tinggi (swirl number, $S > 0,6$) 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 troath). Dengan aliran rata-rata metane $0,342$ NI/s ($0,00123$ m³/h), aliran rata-rata udara $6,67$ NI/s ($0,024$ m³/h) dan equivalence ratio $\phi = 0,49$ yang merupakan campuran kurus 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. Total panjang nyala (total flame length) sekitar 170 mm.

Adi Suryosatyo dan Farid Ani, 2002 telah melakukan pengembangan sistem pembakaran biomassa bertingkat dua 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 278,46 ppm menjadi 223,33 ppm dan 150 ppm menjadi 136,66 ppm.

Adi Suryosatyo dan Farid Ani, 2002 telah mengembangkan sistem pembakaran biomassa bertingkat dua yang diintegrasikan dengan alat pembakar berfuser (swirl burner). Pada penelitian ini digunakan bahan bakar limbah batok kelapa sawit. Pada tingkat pertama limbah batok kelapa sawit digasifikasi dalam updraft gasifier kemudian gas hasil gasifikasi ini melalui pencampuran awal terlebih dahulu dialirkan ke tingkat dua yang terdiri dari cyclone chamber dan swirl vane dan dibakar pada ruang pembakar dua (secondary chamber). Hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi pembakaran sebesar 95,1% dan emisi CO dan NO_x sangat rendah yaitu 65 ppm dan 70 ppm pada sudut swirl 40⁰

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

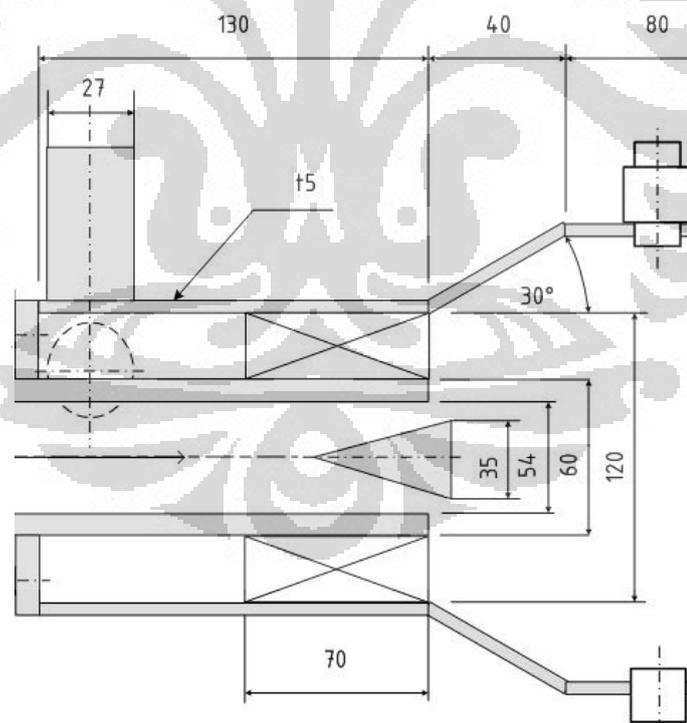
1. Injeksi udara ke dalam *cyclone chamber* pada lubang inlet tangensial.
2. *Quarl* dirancang berbentuk *diffuser* (konvergen). *Throat* merupakan penghubung burner dengan *combustion chamber*.
3. Pipa bahan bakar (*fuel rod*) sepanjang sumbu axis *cyclone chamber*.
4. Pada ujung *fuel rod* terpasang *flame holder/stabiliser* berbentuk kerucut (*conical*)
5. *Swirler vane* dengan *hub* (selubung) yang terpasang pada ujung akhir *fuel rod*, dengan sudut vane sebesar 30⁰.

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 :

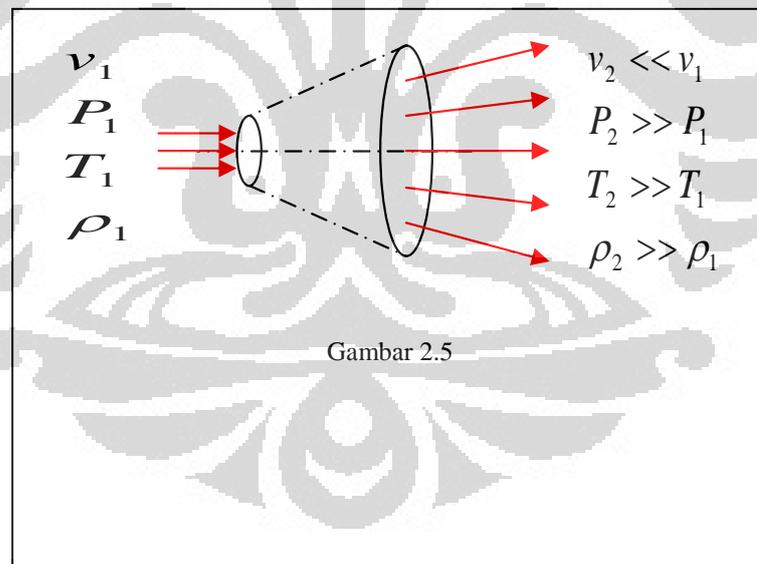
1. Waktu tinggal (*residence time*) yang panjang dari campuran udara-gas
2. Pada daerah exhaust terbentuk zona resirkulasi toroidal (TRZ) yang besar, dan intensitas turbulensi yang tinggi.
3. Terjadi peningkatan kecepatan udara (akselerasi) ketika memasuki *cyclonic chamber* akibat adanya perbedaan tekanan 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 producer gas pada cyclonic 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 27mm. 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 ($A_2 \gg A_1$). 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.



2.3 Komposisi Syngas Dan Injeksi Udara Tangensial

Komposisi Syngas atau gas produser yang merupakan gas hasil penggasifikasian terdiri dari CO, H₂, O₂, CO₂, CH₄, dan N₂, yang nilainya bervariasi tergantung dari batubara yang digunakan dan proses gasfikasi yang

dijalankan. Namun secara umum persentase komposisi syngas ini dapat dilihat dari tabel dibawah ini. Dan untuk keperluan simulasi komposisi syngas ini dapat dibuat tetap.

Bahan Baku	Batok Kelapa
Bentuk	pipih
Ukuran (cm)	2 x 1
Gas hasil Komposisi (%)	
<i>CO</i>	25,0
<i>H₂</i>	12,0
<i>CH₄</i>	1,5
<i>CO₂</i>	10,0
<i>N₂</i>	51,5
<i>heating value, (kJ/m³)</i>	4900

Table 2.1

Sedangkan komposisi untuk injeksi udara tengensial yang merupakan udara luar adalah 0.2% O₂ dan 0,8% N₂.

2.4 Kualitas Percampuran

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

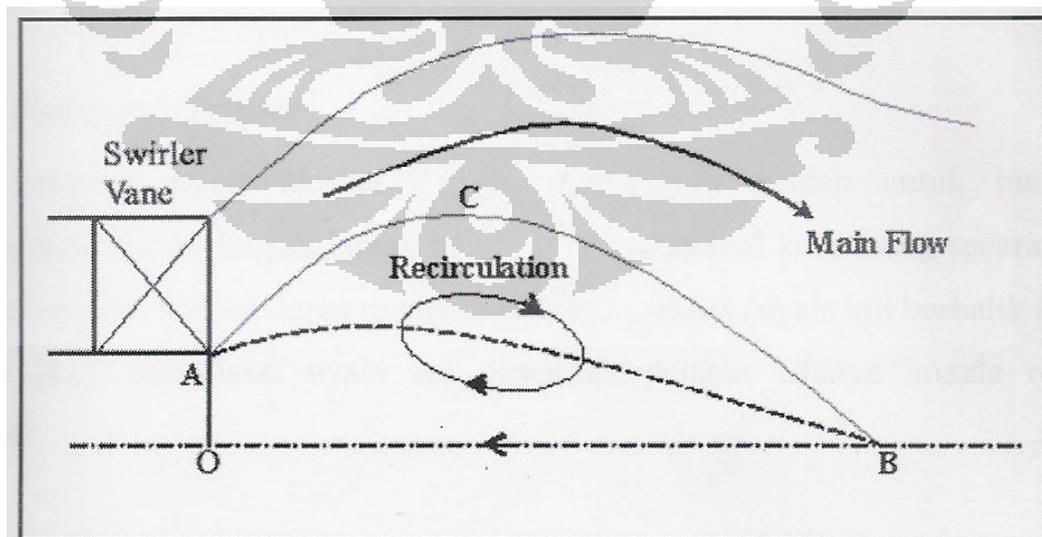
1. Waktu persentuhan (contact time) yang cukup bagi reaktan untuk saling menyatu dalam kesempurnaan percampuran udara-bahan bakar
2. Kombinasi dari elemen mampu bakar dan campuran bahan bakar dengan keseluruhan udara pembakaran membutuhkan temperatur yang cukup untuk dapat dilakukan mengignisasi/mematik unsur pokok reaktan agar dapat timbul nyala api
3. Turbulensi untuk menimbulkan kontak yang sempurna antara oksigen dengan bahan bakar guna menyempurnakan percampuran udara-bahan bakar sehingga dapat tercapai pembakaran yang sempurna

2.4.1 Swirl Number

Aliran swirl digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi. 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

Mekanisme swirl. 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 dan memperpanjang waktu tinggal (residence time)

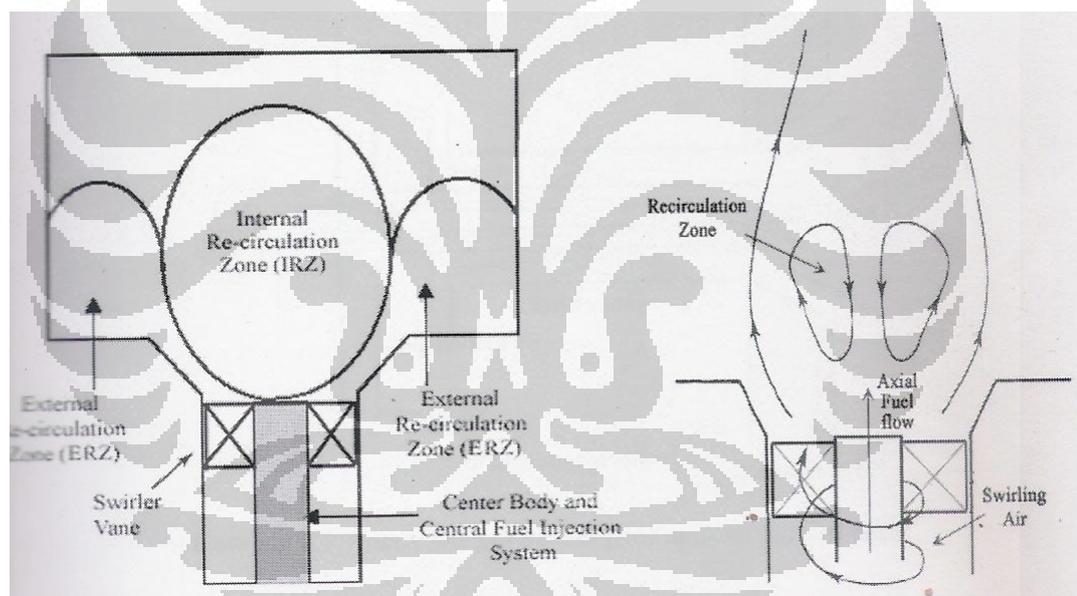
M N M Jaafar mengemukakan bahwa swirl ditimbulkan dari pengaplikasian sebuah pergerakan spiral pada sebuah aliran. Pergerakan spiral ini diperoleh dengan menambahkan aliran tangensial kepada aliran axial. Aplikasi swirl tersebut membangkitkan zona resirkulasi internal



Gambar 2.6

Gambar Zona resirkulasi pada pusaran (sumber Jaafar, M N M. The Influence of Variable Vane Angle Air Swirler on Reducing Emissions From Combustion Process)

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.

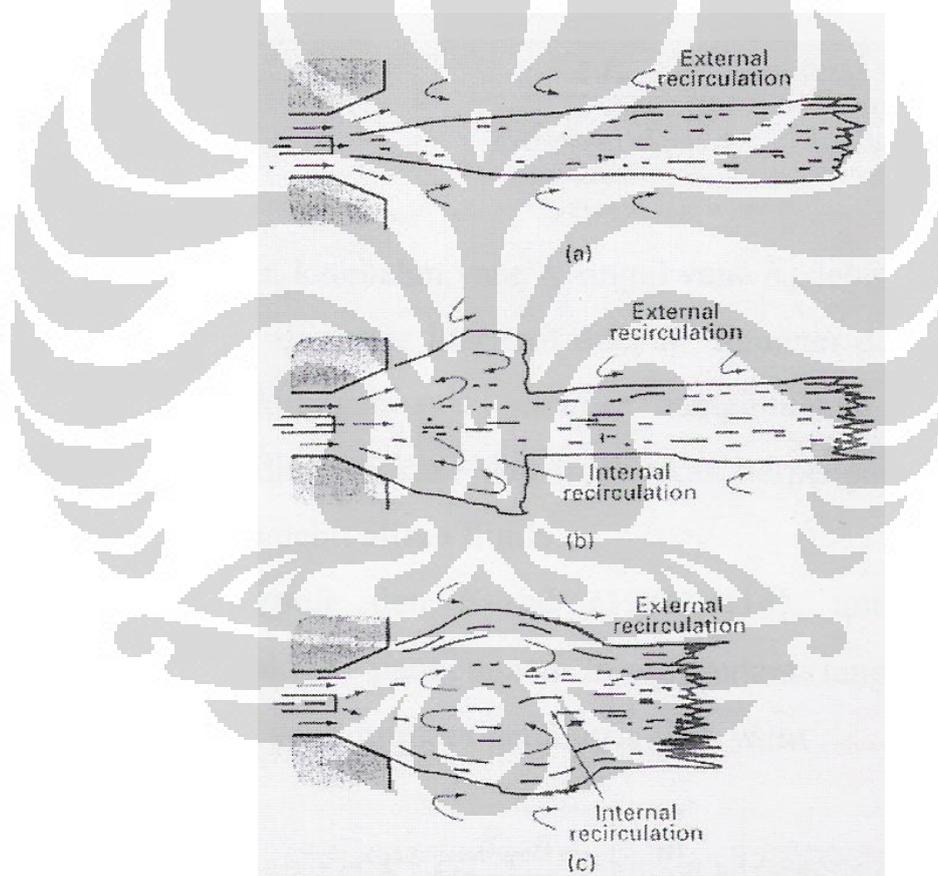


Gambar 2.7

Zona resirkulasi pada non-premixed swirl burner

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, stabilasi nyala api diperoleh dengan adanya nozzle refraktori eksternal.

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, berpusar melingkari axil fuel rod dan nozzle. Swirl meresirkulasi produk pembakaran tak sempurna yang bertemperatur tinggi kembali ke akar nyala api. Percampuran 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

Flame 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 tangensial, swirl number dikarakterisasi dengan swirl geometris (S_g)

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

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

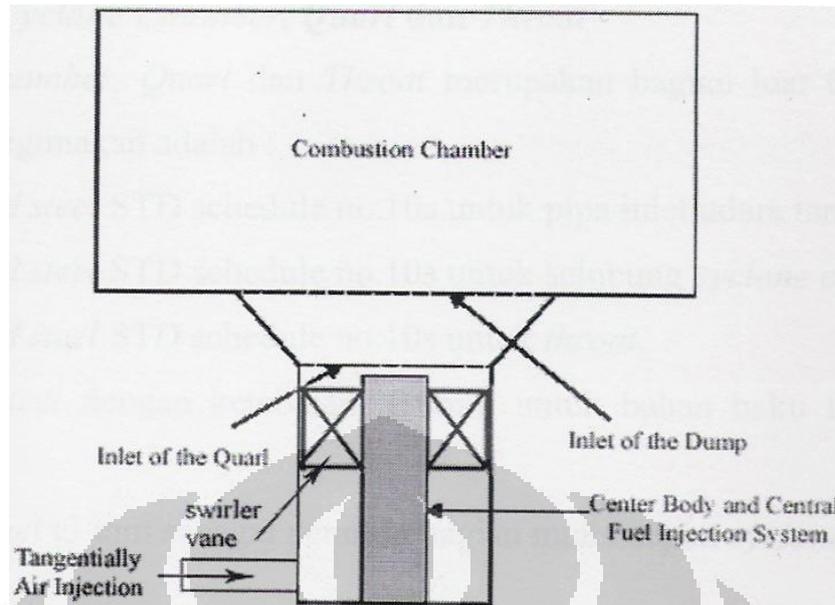
R_q = radius inlet quarl

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

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 $S \geq 6$ sangat efektif diaplikasikan pada system yang menggunakan aliran kecepatan tinggi untuk mengontrol intensitas ukuran dan bentuk nyala api. Aliran swirl kuat dapat membangkitkan IRZ yang besar yang akan meresirkulasi produk pembakaran untuk terbakar kembali sehingga emisi polutan dapat dikurangi secara signifikan, aliran swirl kuat juga mereduksi panjang flame dengan signifikan.

Efek swirl terhadap pembentukan emisi polutan. Claypole dan Syred meliti pengaruh pembentukkan 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 NO_x dalam gas buang yang tersirkulasi menuju

flame. Jumlah emisi total NO_x , yang dapat berpengaruh terhadap pengurangan efisiensi pembakaran, dapat dikurangi dengan signifikan. Metode paling umum yang digunakan untuk mencapai emisi NO_x yang rendah dari nyala api gas natural adalah dengan mencegah daerah kaya bahan bakar yang potensial dalam pembentukan NO_x dan menurunkan level temperature nyala api untuk mereduksi thermal NO_x hingga ke level yang diinginkan.

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.

2.5 Teknik Komputasi

Aliran yang terjadi di dalam gas burner merupakan aliran turbulen. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan software solidworks, gambit dan fluent. Solidworks digunakan untuk menggambar domain dari gas burner, gambit digunakan untuk memenhing dan memberi face inputan sedangkan fluent digunakan untuk menghitung apa yang terjadi di gas burner. Mesh yang dapat dilakukan oleh gambit ada beberapa macam, diantara hexagonal dan tetrahedral. Mesh hexagonal digunakan untuk domain yang teratur sedangkan mesh tetrahedral digunakan untuk domain yang lebih rumit dan tidak teratur karena bentuknya dapat disesuaikan dengan kondisi.

Dalam pembakaran non-premixed, bahan bakar dan oksidator memasuki zona reaksi dalam 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 NO_x dan formasi polutan lainnya.

2. Reaksi permukaan (misal deposisi uap kemia) 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.

Namun simulasi yang dilakukan adalah tanpa reaksi kimia yang terjadi, simulasi yang dilakukan adalah hotflow, dengan reaksi-reaksi volumetrik yang ada anatar partikel.

Fluent dapat memodelkan pencampuran 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.

2.6 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 CH_4 , O_2 , dan H_2 dengan komposisi masing-masing yang sudah ditentukan dari hasil percobaan sebelumnya yang sudah dilakukan di lapangan.

Reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi, sangat terkait erat dengan kadar karbon yang terdapat di dalam biomass 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):

$$\text{C} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$$

- 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.

BAB 3 PEMODELAN

3.1 Pemodelan

Pemodelan pembakaran gas hasil gasifikasi dilakukan dengan berbagai tahap, yaitu:

1. Pembuatan model burner, domain burner, dan komponen-komponen lainnya dengan menggunakan Solidworks 2009.
2. Melakukan meshing model tersebut dalam satu volume dengan menggunakan software Gambit.
3. Men-simulasikan pembakaran dengan menggunakan software Fluent 6.3.

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

Ada beberapa parameter yang diasumsikan dalam pemodelan tersebut, yaitu:

1. Komposisi fraksi massa gas pada syngas.
 - a. CO = 25 %
 - b. H₂ = 12 %
 - c. CH₄ = 1,5 %
 - d. CO₂ = 10 %
 - e. N₂ = 51,5 %
2. Kecepatan dari syngas sebesar 1 m/s
3. Kecepatan injeksi udara tangensial, divariasikan mulai dari 3 m/s, 4,5 m/s, 6 m/s.

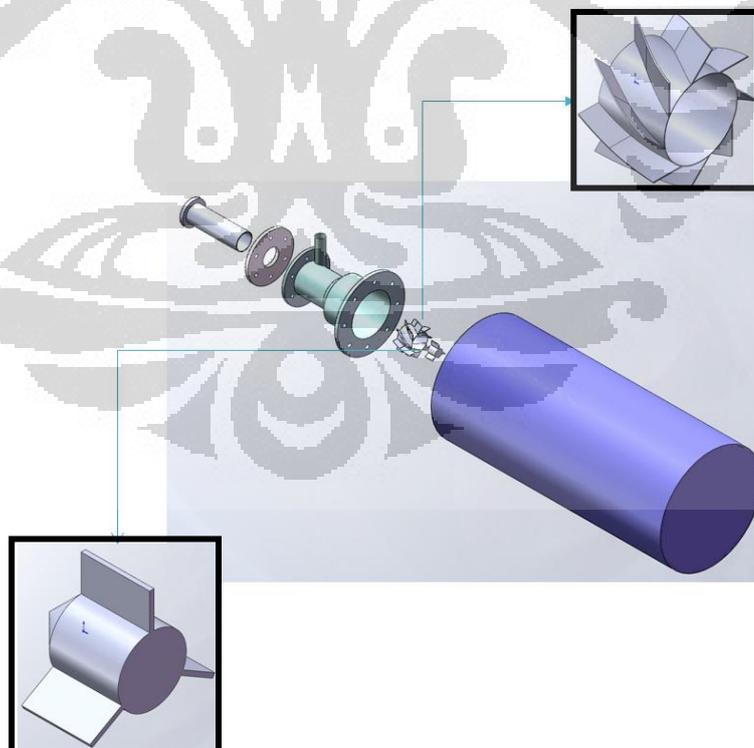
4. Temperature syngas sebesar $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperature udara tangensial sebesar $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dengan mengasumsikan nilai-nilai diatas 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 disain gas burner.

Pada pemodelan dengan menggunakan software ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yakni pada komposisi gas yang ada. Pada simulasi ini akan dilakukan reaksi volumetric, dimana terjadi reaksi pembakaran.

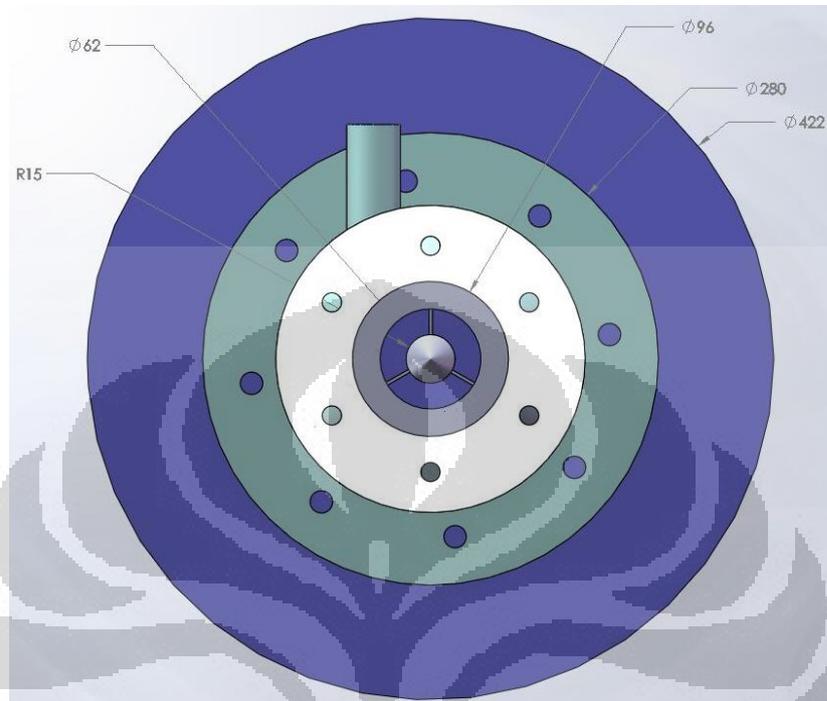
3.2 Disain Gas Burner

Pembuatan model gas burner mengikuti disain 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 Exploded Sistem Gas Burner

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



Gambar 3.2

Tampak Samping Gas burner



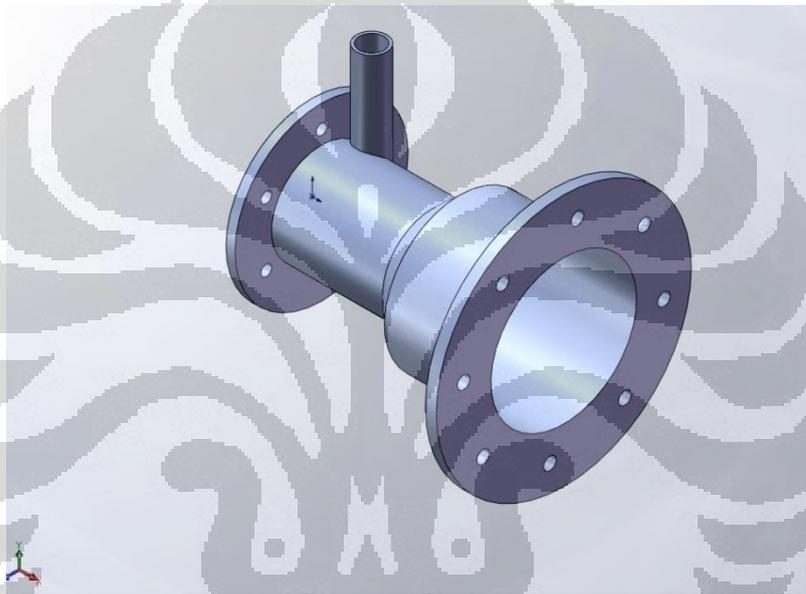
Gambar 3.3

Tampak Depan Gas burner

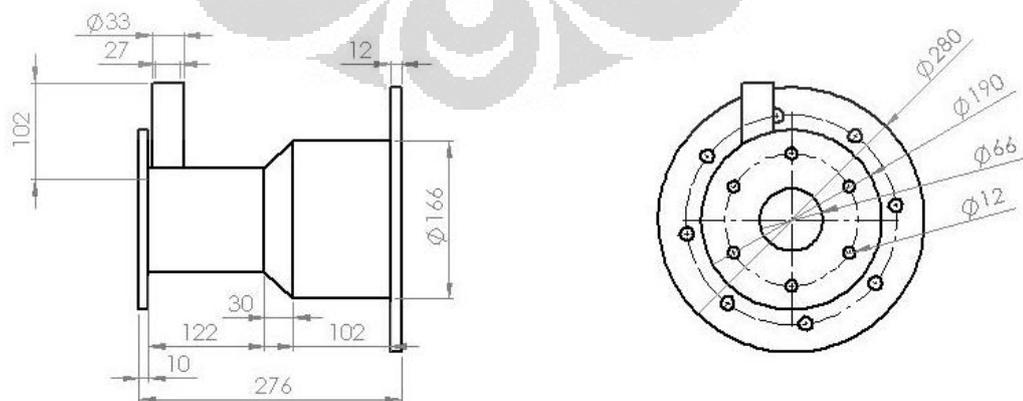
Sistem gas burner tersebut, memiliki beberapa komponen penting lainnya seperti konis, swirl, dan silinder inlet bahan bakar. Masing-masing komponen memiliki fungsi yang penting pada proses yang terdapat di dalam gas burner.

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 3.1
Gas burner

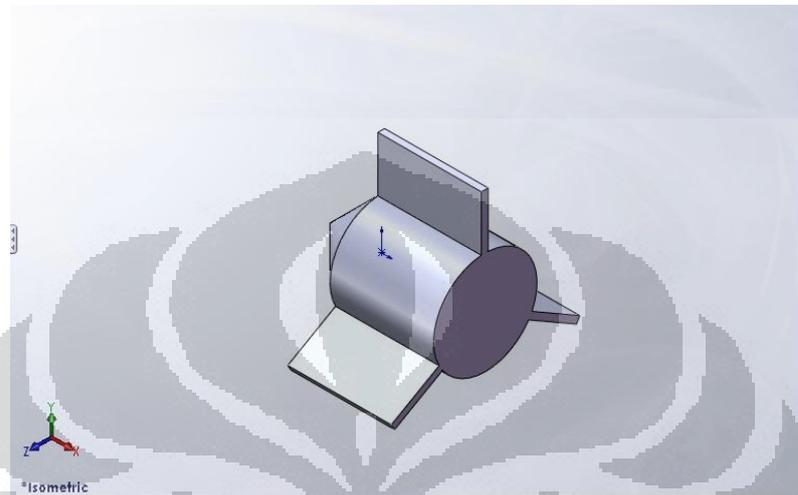


Gambar 3.2

Dimensi Gas burner

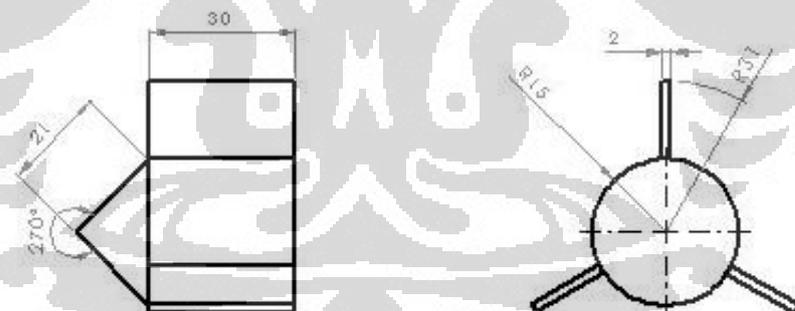
3.2.2 Konis

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



Gambar 3.3

Konis

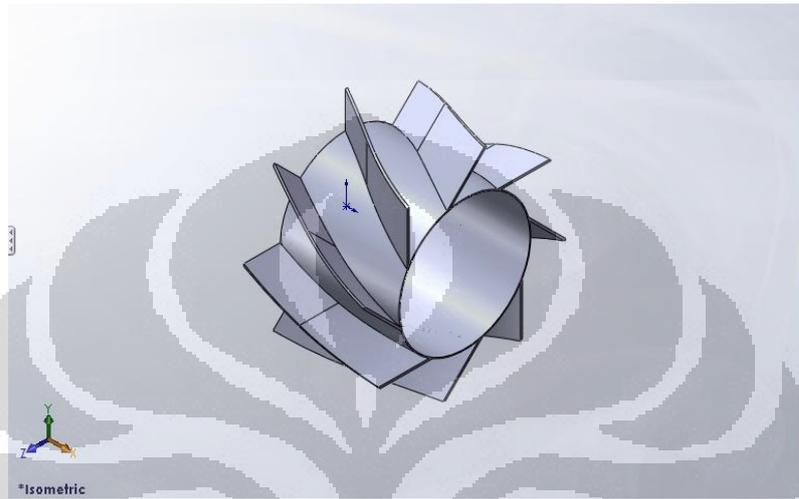


Gambar 3.4

Dimensi Konis

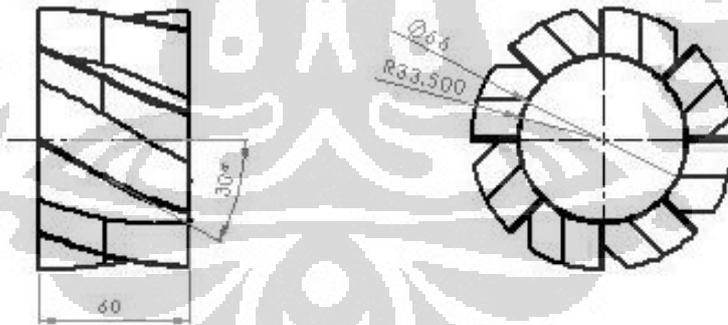
3.2.3 Swirl

Swirl berfungsi untuk membelokkan arah aliran injeksi udara tangensial agar aliran tersebut menjadi turbulensi. Swirl pada gas burner tersebut memiliki sudut 30° terhadap garis sumbu swirl itu sendiri. Swirl tersebut memiliki dimensi terluar dengan lebar 60 mm dan diameter 66 mm.



Gambar 3.5

Swirler

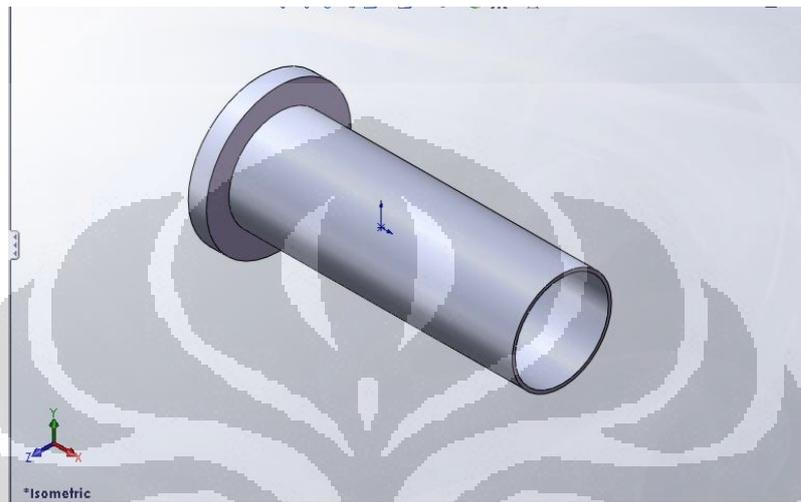


Gambar 3.6

dimensi swirler

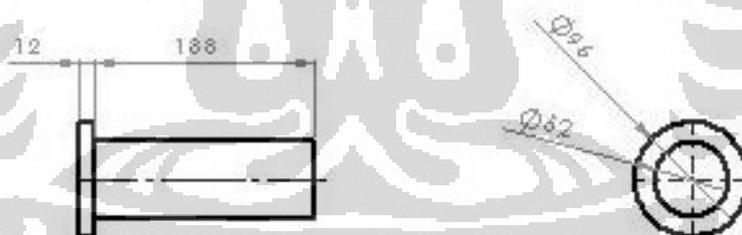
3.2.4 Inlet Bahan Bakar

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 96 mm.



Gambar 3.7

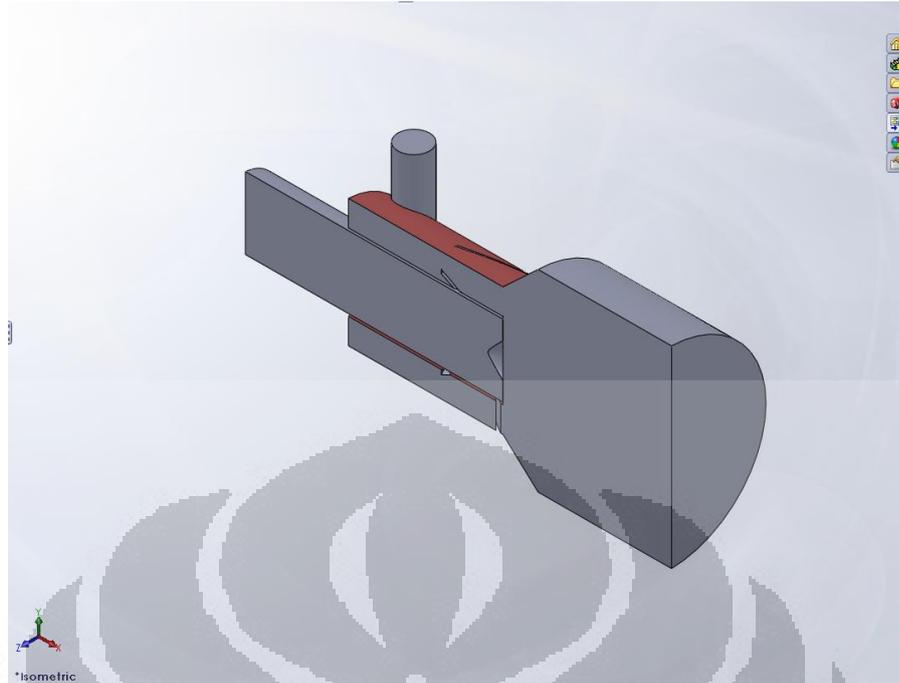
Inlet bahan bakar



Gambar 3.8

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 3.12 di bawah ini. Setelah itu file kemudian disimpan dengan format file *.step.



Gambar 3.9

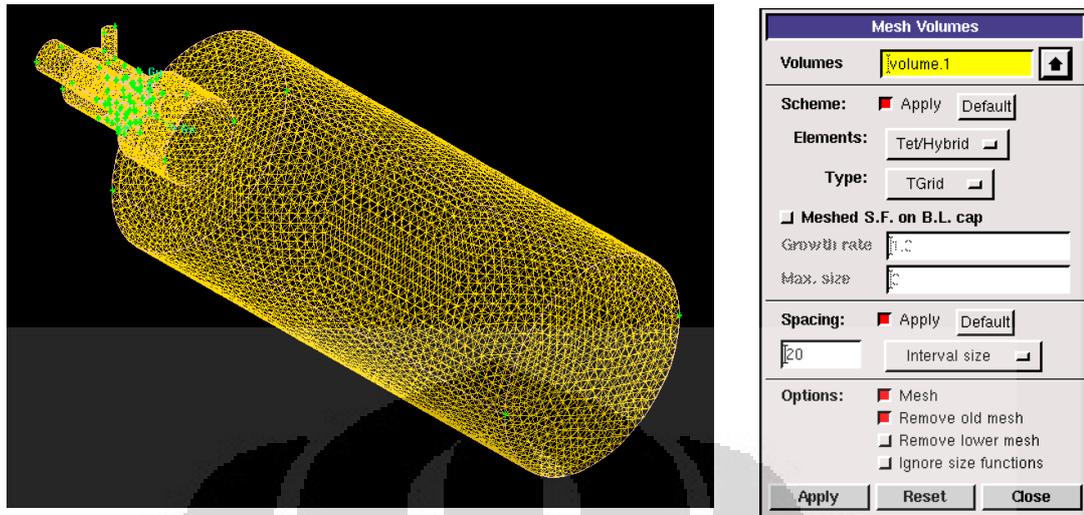
Gas burner

3.3 Mesh Dan Boundary

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:

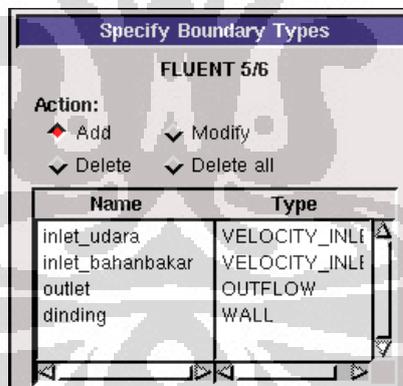
1. Meng-import file dari Solidworks dalam bentuk file *.step ke dalam Gambit.
2. Melakukan meshing volum dengan element mesh “tet/hybrid” dengan type TGrid dan interval size sebesar 20.



Gambar 3.10

hasil meshing dengan interval size 20 dan gambar window untuk meshing

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



Gmbar 3.11

Kondisi Batas

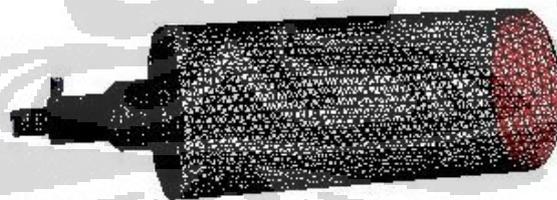
- Langkah terakhir pada software gambit ini adalah dengan meng-export gambar tersebut dalam bentuk file *.msh, agar file tersebut mampu dibaca oleh software Fluent.

3.4 Prosedur Simulasi

Langkah-langkah pengerjaan fluent akan dijelaskan secara detail untuk mempermudah perhitungan.

3.4.1 Grid

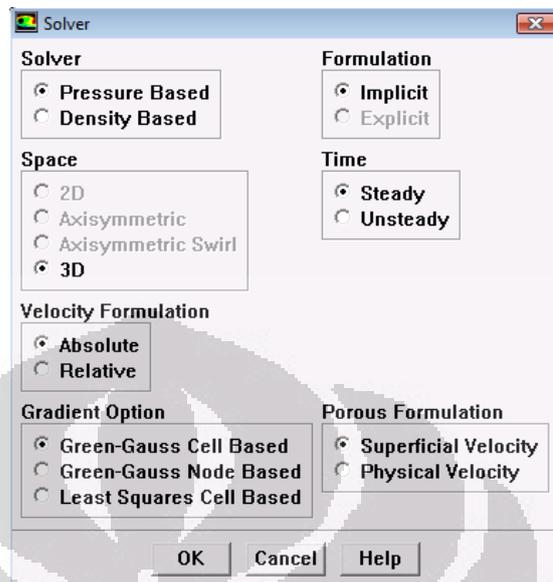
1. **File>read>case** Konstruksi yang telah dibuat di solidwork dan mesh yang telah dibuat di gambit akan dibaca di fluent dengan ekstensi .msh . Fluent akan melaporkan bahwa bangun burner yang telah di diskritkan melalui metode meshing terdiri dari:
40967 tetrahedral cells, 6586 triangular wall faces, 356 triangular outflow faces, 6 triangular velocity-inlet faces, 26 triangular velocity-inlet faces, 78447 triangular interior faces, dan 8679 nodes,
2. Mengecek grid **grid>check** untuk memeriksa minimum dan maksimum dari nilai x dan y dari grid.
3. Menskalakan grid **grid>scale** pilih unit mm agar sesuai konstruksi awal
4. Menampilkan grid **display >grid**



Gambar 3.12

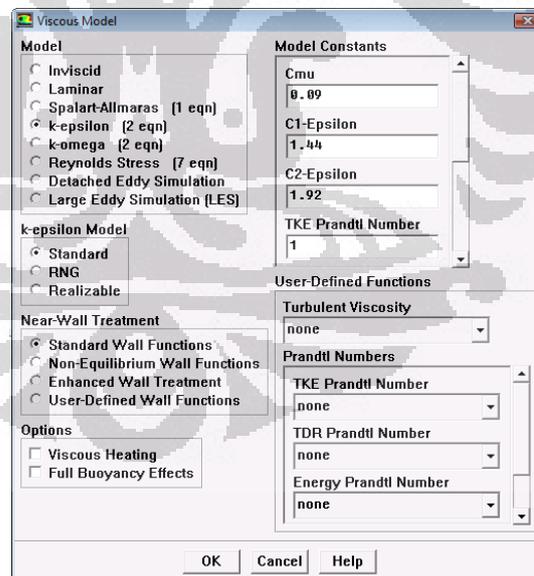
3.4.2 Models

1. Mendefinisikan jenis solver yang digunakan **Define>models>solver**



Gambar 3.13

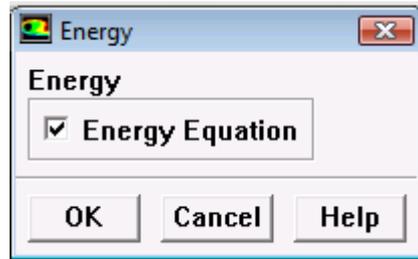
2. Mengaktifkan model turbulensi $k-\epsilon$ **define>models>viscous**



Gambar 3.14

3. Mengaktifkan perpindahan panas untuk mengaktifkan persamaan energy.

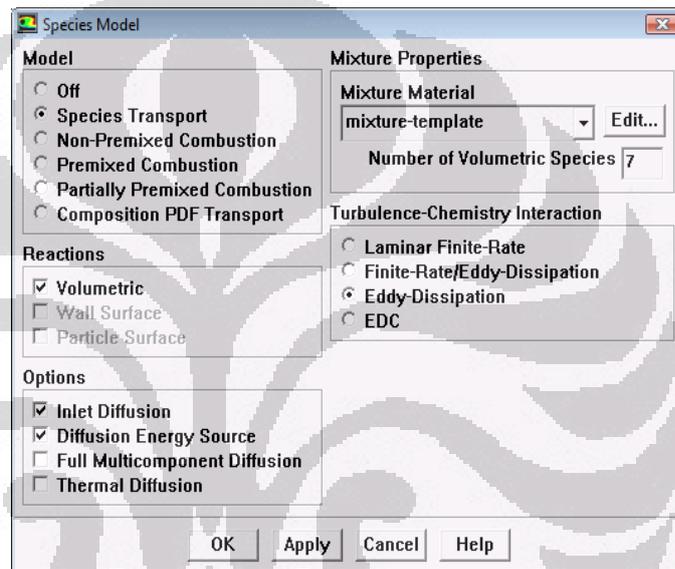
Define>models>energy



Gambar 3.15

4. Mengaktifkan spesies kimia reaksi dan perpindahan

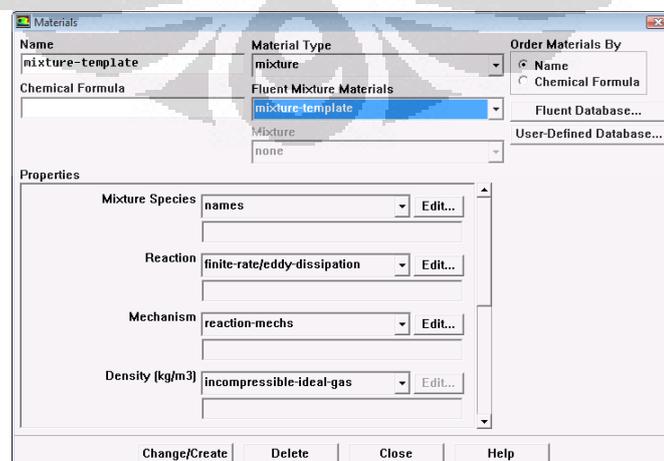
Define>models>species



Gambar 3.16

3.4.3 Materials

Define>materials

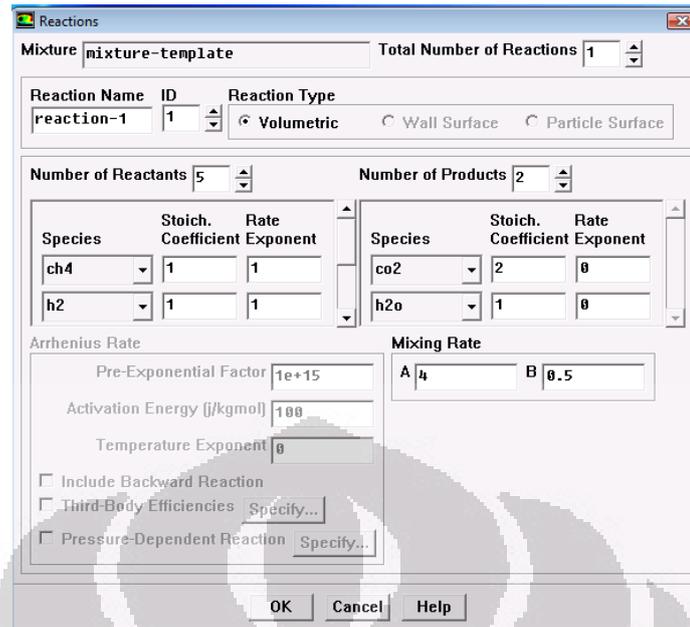


Gambar 3.17

panel material ini menunjukkan mixture-material, yang merupakan campuran dari beberapa species yang telah dijelaskan diatas. disini penulis akan memasukkan nilai-nilai sebagai berikut :

1. CO
 - a. Density (kg/m^3) 1,123
 - b. Cp (j/kgk) 1043
 - c. Viscosity (kg/ms) $1,75 \cdot 10^{-5}$
2. H₂
 - a. Density (kg/m^3) 0,08189
 - b. Cp (j/kgk) 14283
 - c. Viscosity (kg/ms) $0,411 \cdot 10^{-6}$
3. O₂
 - a. Density (kg/m^3) 1,299
 - b. Cp (j/kgk) 919,31
 - c. Viscosity (kg/ms) $1,919 \cdot 10^{-5}$
4. CO₂
 - a. Density (kg/m^3) 1,787
 - b. Cp (j/kgk) 840,37
 - c. Viscosity (kg/ms) $1,37 \cdot 10^{-5}$
5. CH₄
 - a. Density (kg/m^3) 0,667
 - b. Cp (j/kgk) 2222
 - c. Viscosity (kg/ms) $1,08 \cdot 10^{-5}$
6. N₂
 - a. Density (kg/m^3) 1,138
 - b. Cp (j/kgk) 1040
 - c. Viscosity (kg/ms) $1,663 \cdot 10^{-5}$

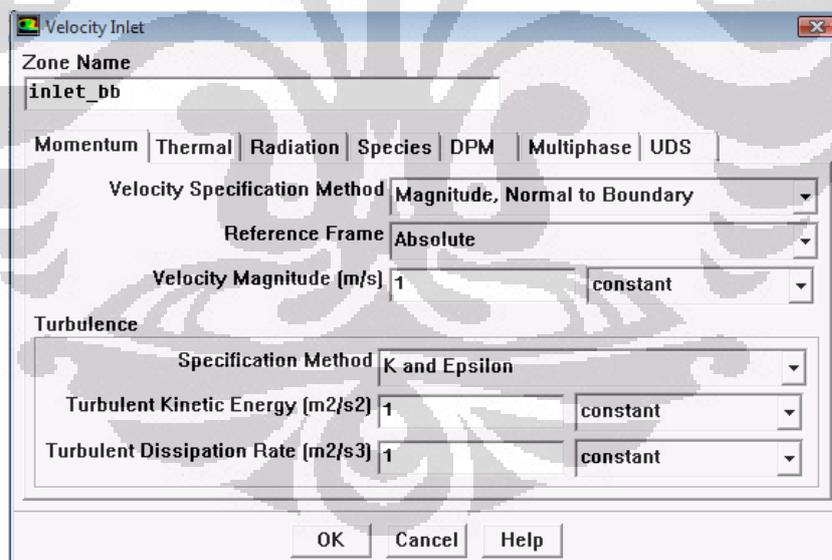
Reaksi yang terjadi:



Gambar 3.18

3.4.4 Boundary Condition

1. Inlet bahan bakar:



Gambar 3.19

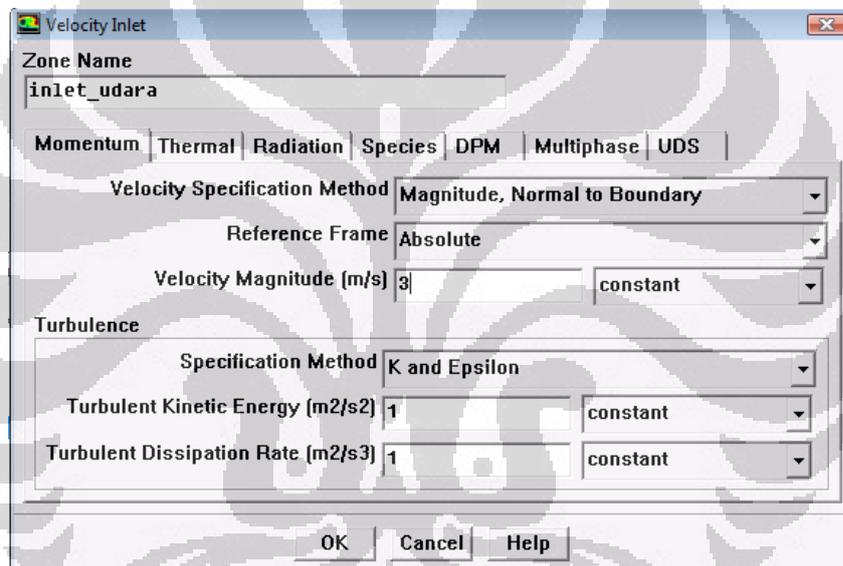
Di panel ini kita dapat mengganti parameter-parameter yang ada, disini nilai-nilainya adalah :

1. Velocity magnitude : untuk keperluan simulasi, kecepatan dibuat konstan 1m/s

2. Temperature masuk adalah 473 K
3. Species yang ada dalam kandungan bahan bakar, didefinisikan dalam bentuk fraksi massa dari biomassa sebagai berikut :

- a. CO = 25 %
- b. H₂ = 12 %
- c. CH₄ = 1,5 %
- d. CO₂ = 10 %
- e. N₂ = 51,5 %

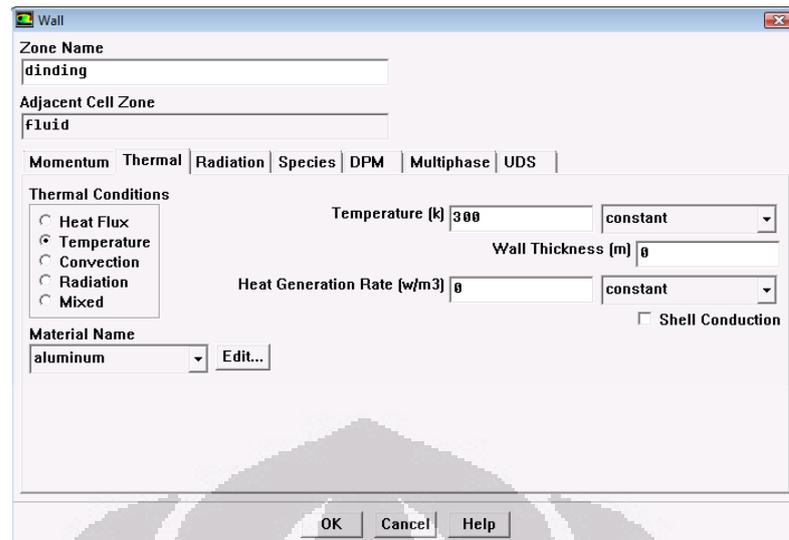
2. Inlet udara:



Gambar 3.20

di panel inlet udara ini akan divariasikan tiga kecepatan yang berbeda, yaitu 3m/s, 6m/s, 9m/s , suhu udara yang diinjeksikan 30 derajat celcius, dan species yang terkandung terdiri dari 0.2 O₂ dan 0.8 N₂

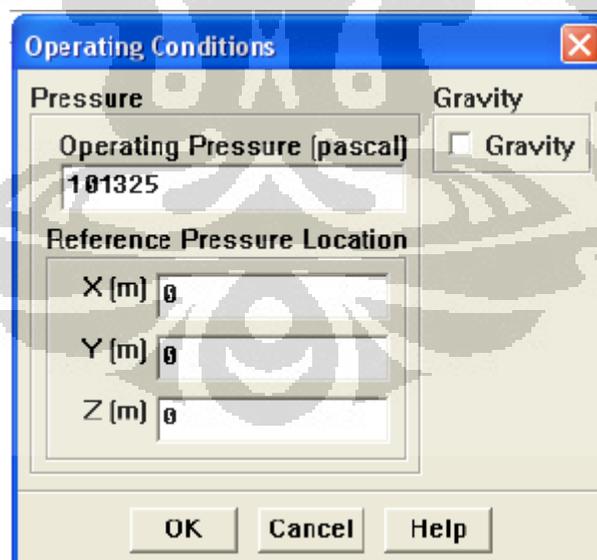
3. Dinding



Gambar 3.21

Pada panel wall didefinisikan dinding luar memiliki temperature 300 kelvin.

3.4.4 Operating Condition



Gambar 3.22

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

4.1 Hasil

Beberapa hasil yang dapat diperoleh dengan menggunakan software fluent adalah temperatur, kecepatan dan turbulen kinetik energy, intensitas turbulen, dan banyak parameter lain, tetapi pada analisa ini akan difokuskan pada analisa temperature, fraksi massa CO dan O_2 , serta intensitas turbulensi terhadap fungsi jarak. Hasil lebih mendetail akan dilakukan per plane yang sejajar dengan plane outlet (plane x-y) yang berjarak $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$ dan $x=0.75$, dan memotong tepat pada tengah-tengah dari konstruksi gas burner. Konstruksi gas burner yang akan dibahas kali ini adalah gas burner tanpa menggunakan konis.

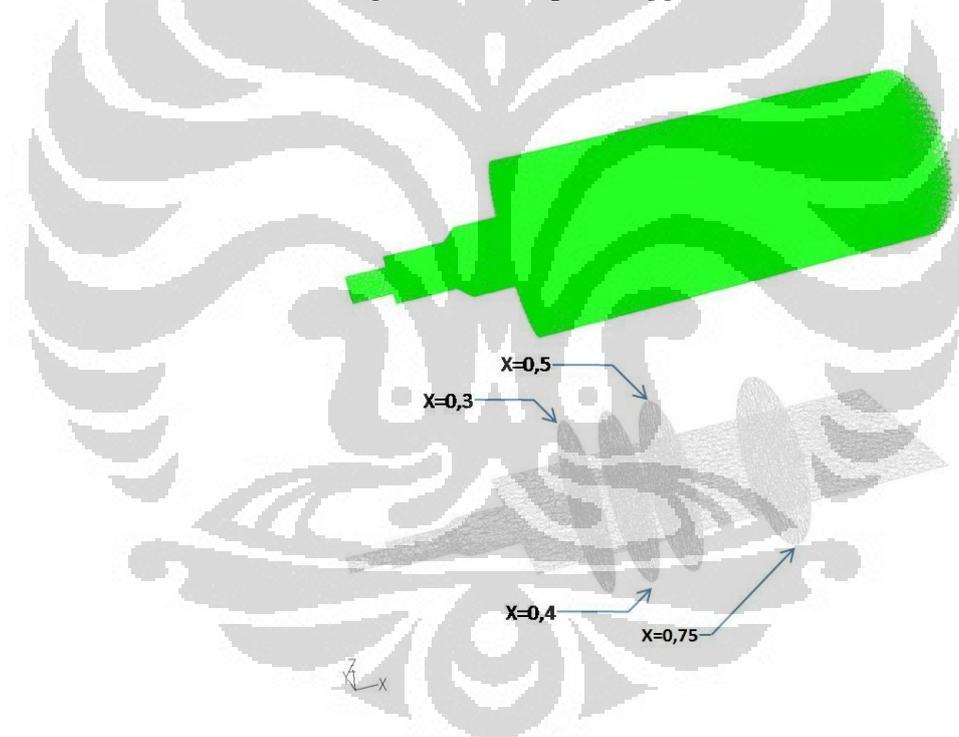


Figure 23

Plane yang akan dilihat hasilnya. Dari kiri plane $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$ dan $x=0.75$

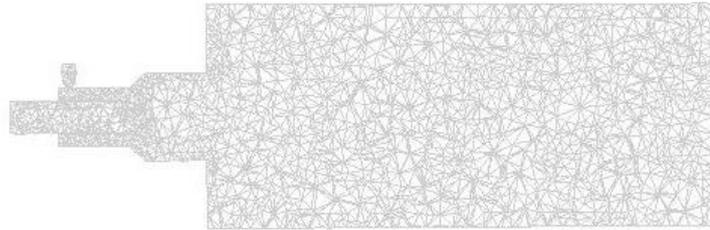


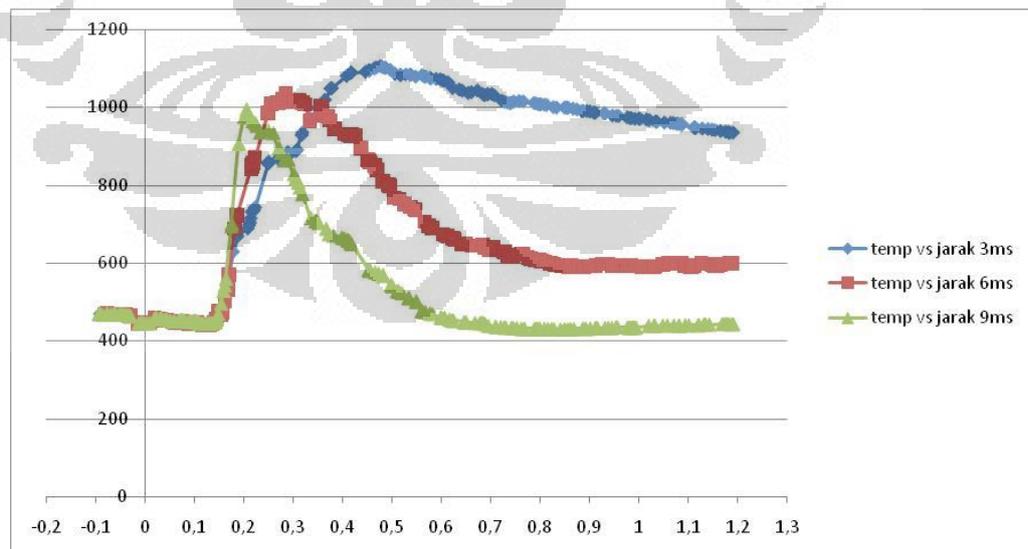
Figure 24

plane potongan tengah

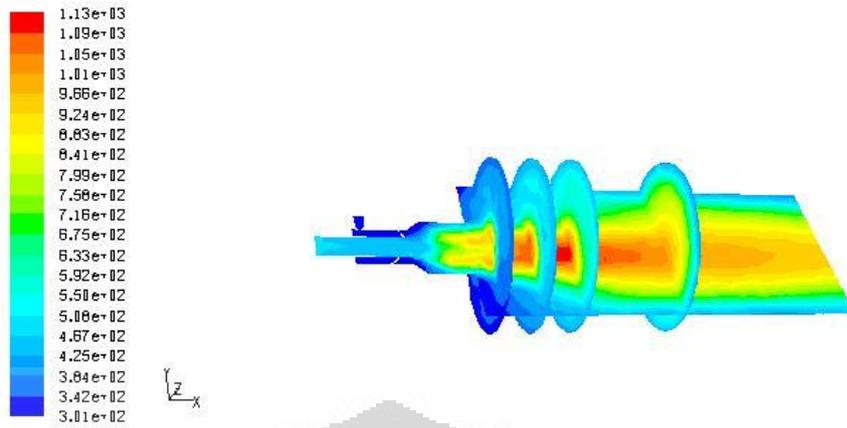
4.1.1 Temperatur

Analisa temperatur akan dilakukan dengan cara melihat profil temperature pada plane tengah, dan plane $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$ dan $x=0.75$ dengan kecepatan udara yang divariasikan pada 3m/s, 6m/s, dan 9m/s.

Profil temperature pada plane tengah :

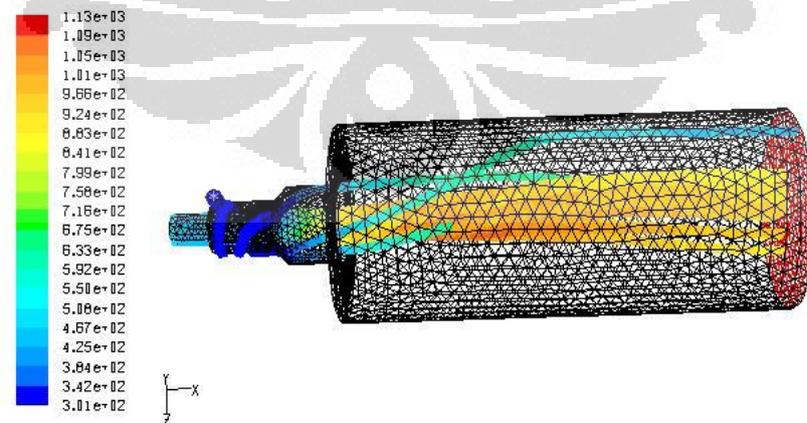
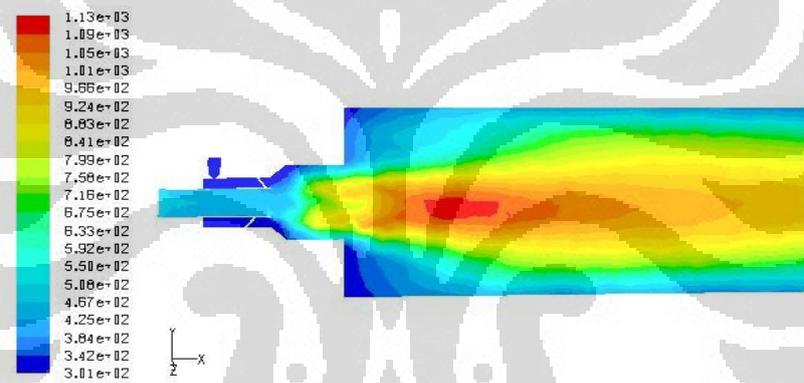


grafik 1

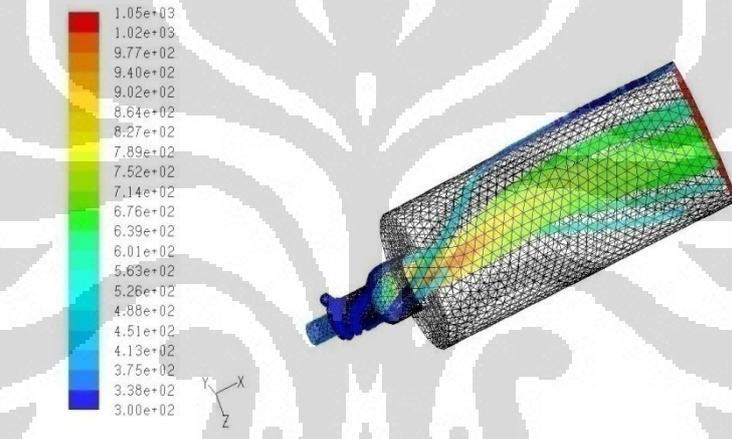
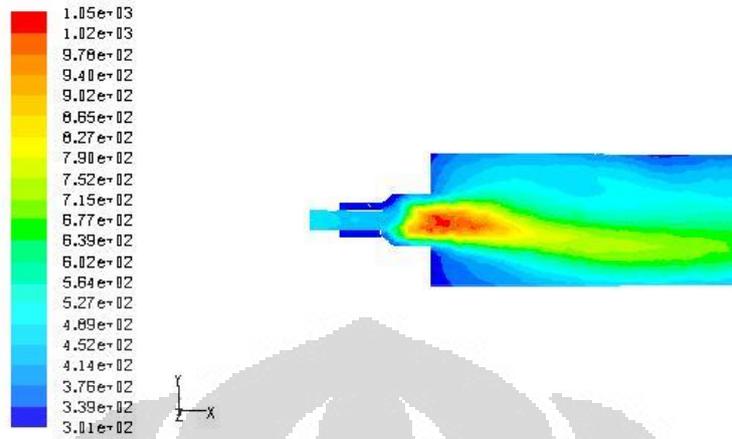


Kontur plane tengah :

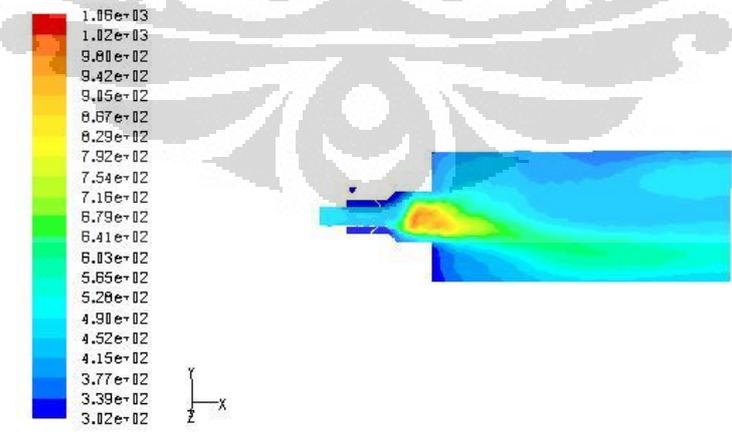
V=3 m/s

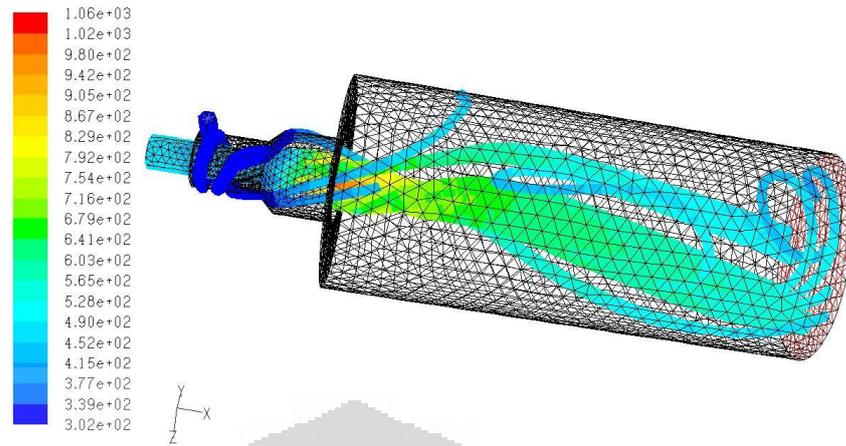


V=6m/s

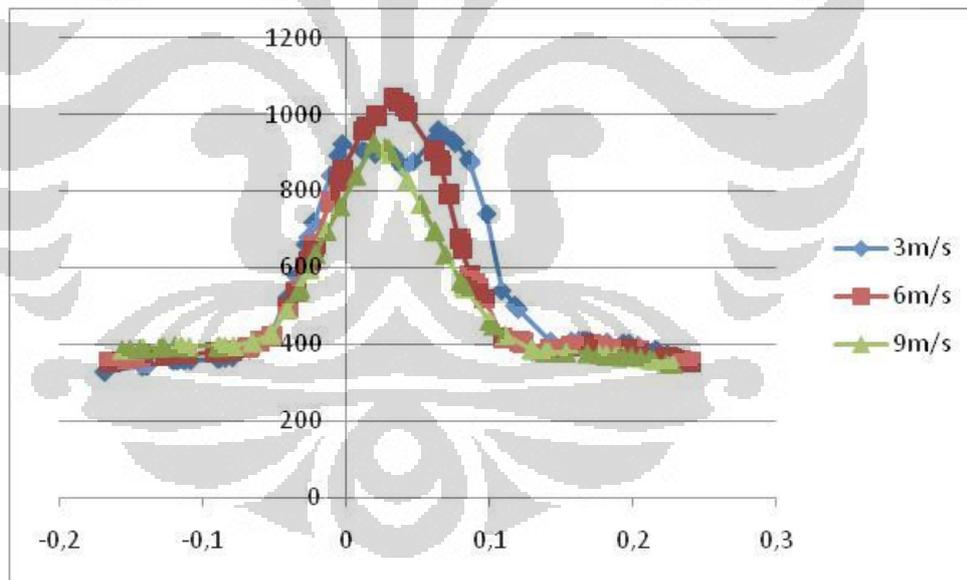


V=9m/s

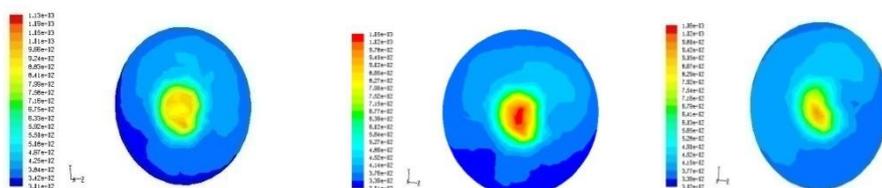




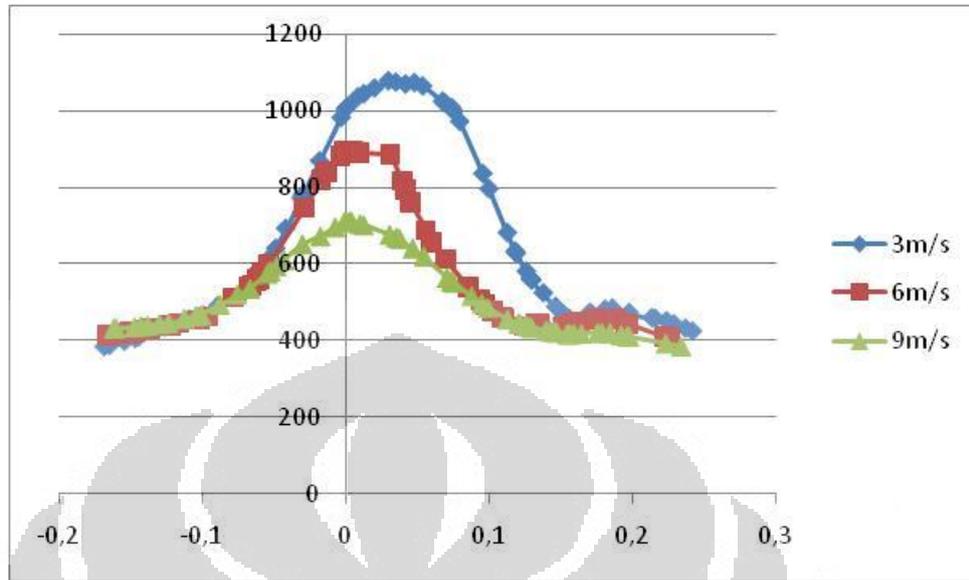
Profil temperature per plane :
temperatur pada plane $x=0.3$



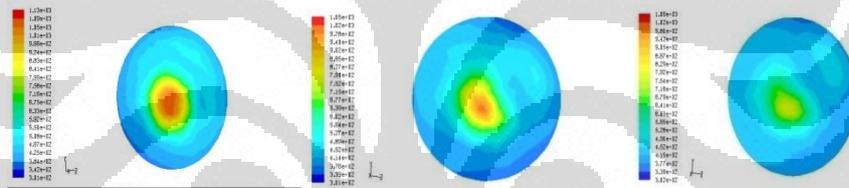
grafik 2



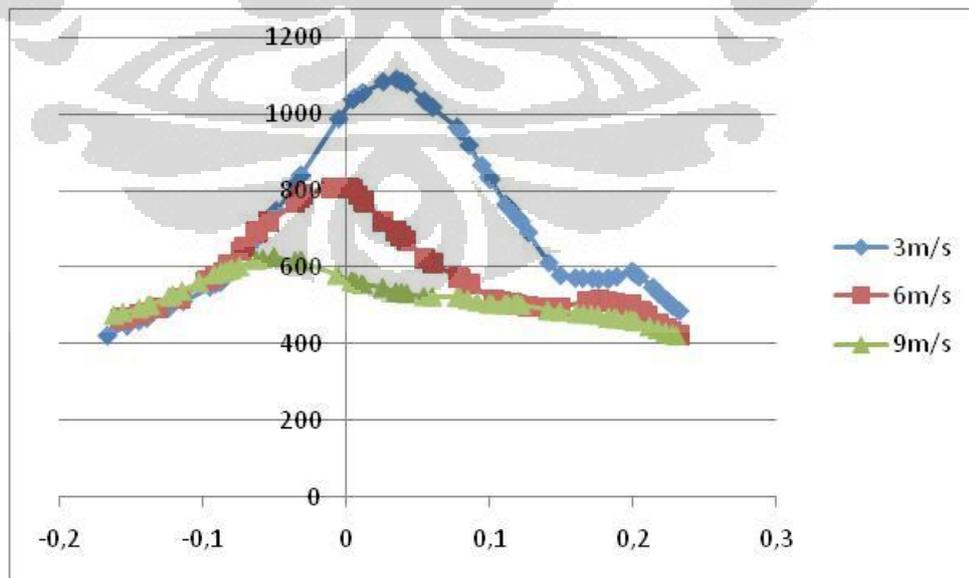
temperatur pada plane x = 0.4



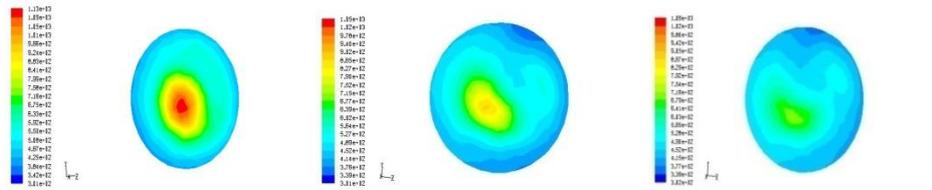
grafik 3



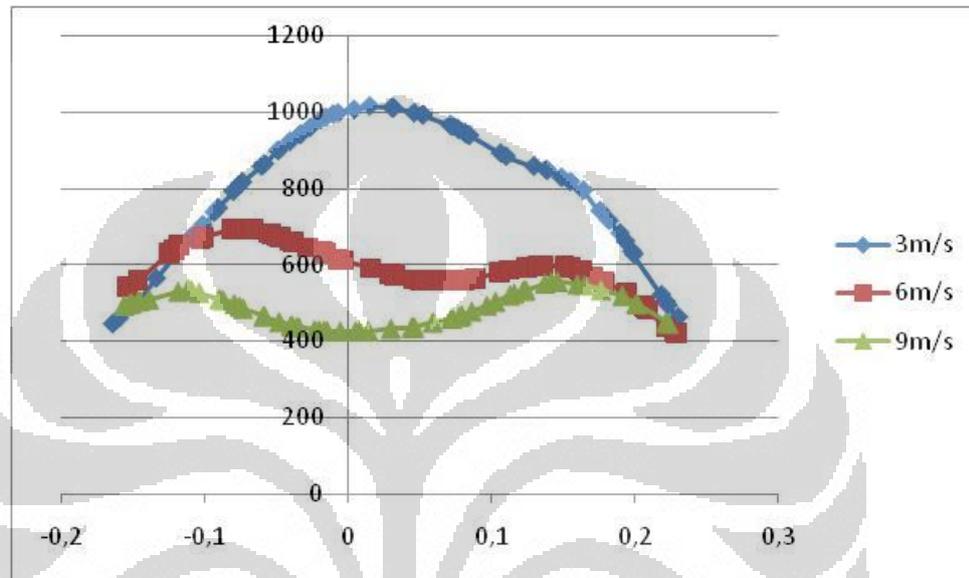
temperatur pada plane x =0.5



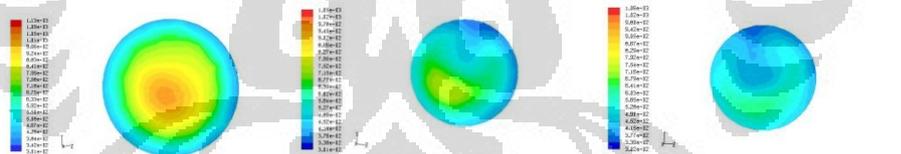
grafik 4



temperatur pada plane $x = 0.75$



grafik 5

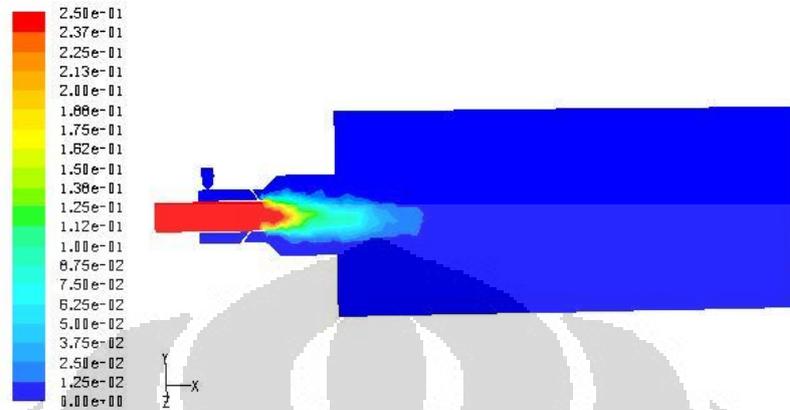


4.1.2 Kadar Co

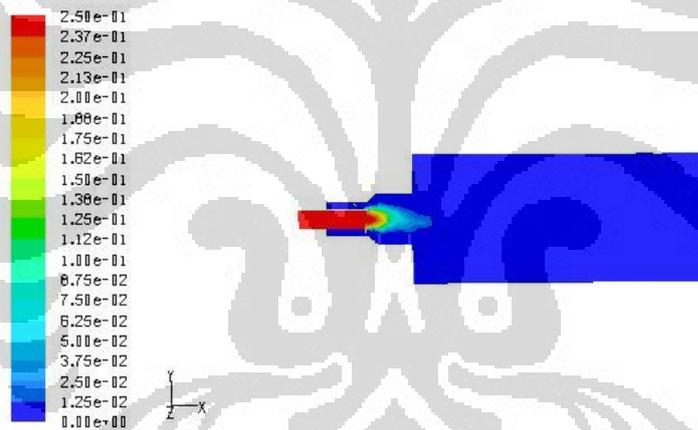
Analisa kadar CO akan dilakukan dengan cara melihat profil CO pada plane tengah, dan plane $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$ dan $x=0.75$ dengan kecepatan udara yang divariasikan pada 3m/s, 6m/s, dan 9m/s.

Kontur CO pada plane tengah :

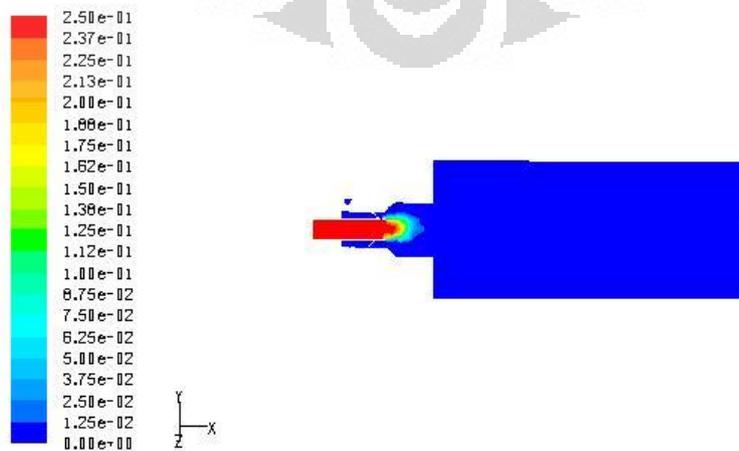
$V=3\text{m/s}$



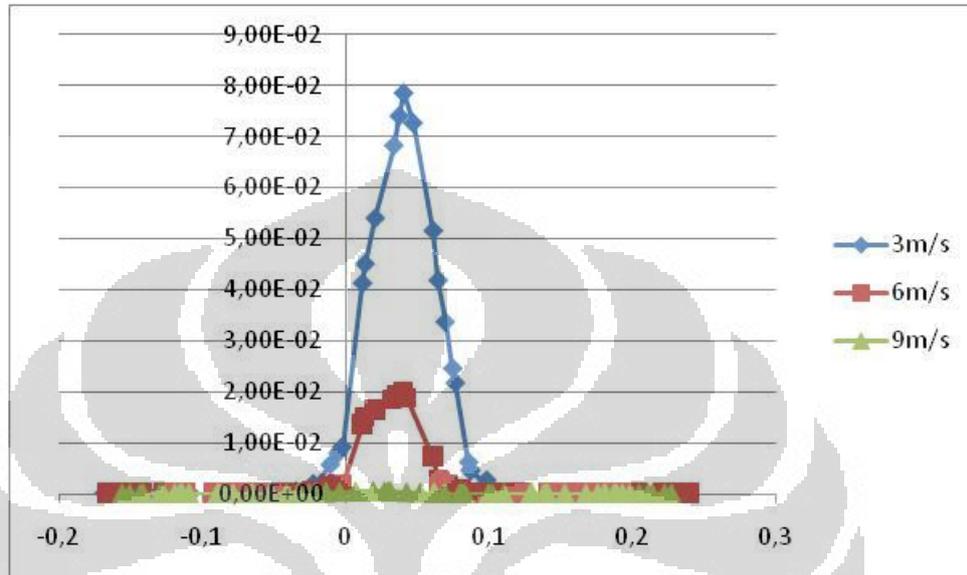
$V=6\text{m/s}$



$V=9\text{m/s}$

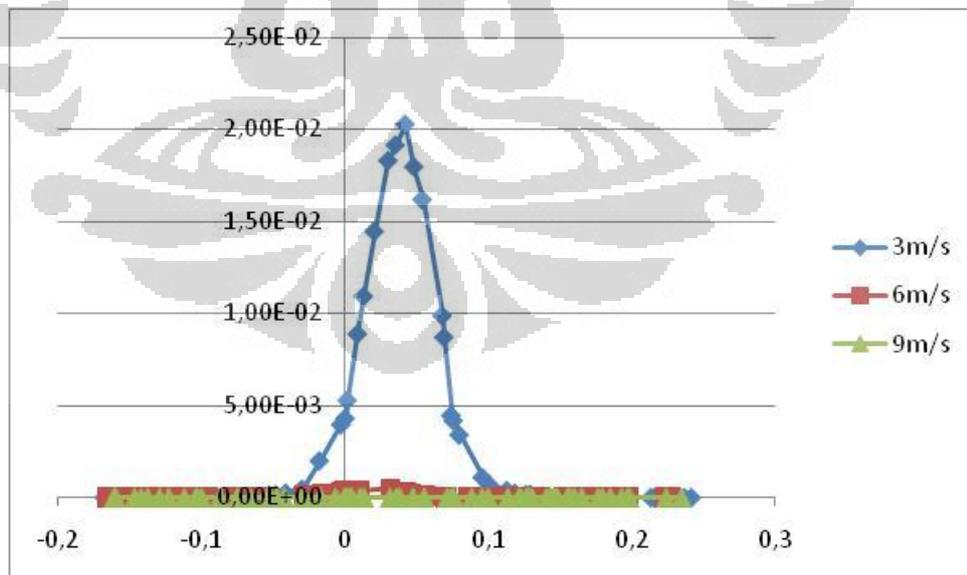


CO pada plane $x=0.3$



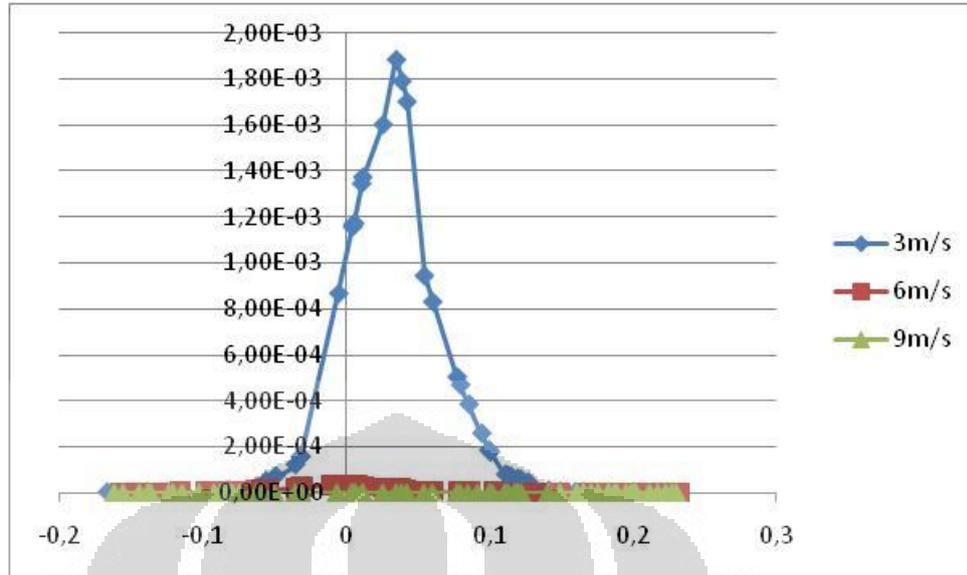
grafik 6

CO pada plane $x = 0.4$



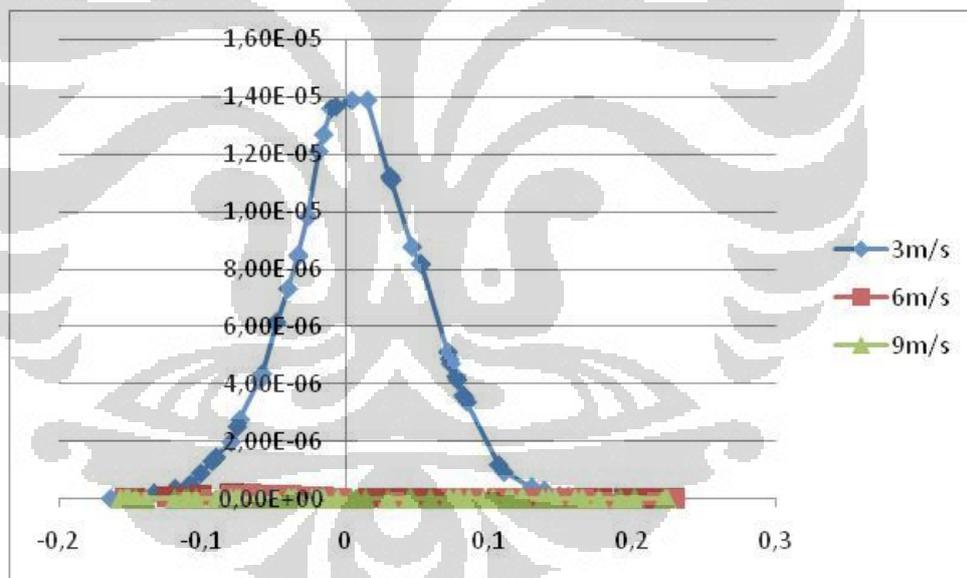
grafik 7

CO pada plane $x = 0.5$



grafik 8

CO pada plane x = 0.75

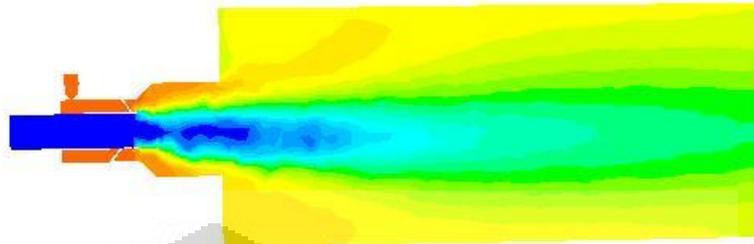
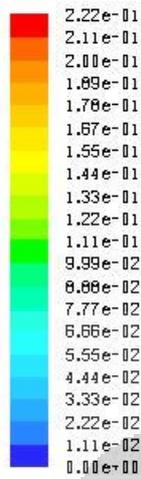


grafik 9

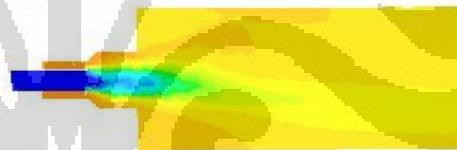
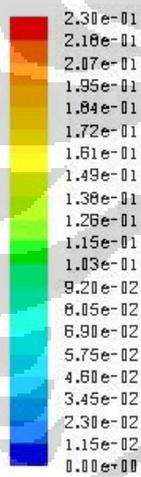
4.1.3 Kadar O₂

Analisa kadar O₂ akan dilakukan dengan cara melihat profil O₂ pada plane tengah, dan plane x=0.3, x=0.4, x=0.5 dan x=0.75 dengan kecepatan udara yang divariasikan pada 3m/s, 6m/s, dan 9m/s. Kontur O₂ pada plane tengah:

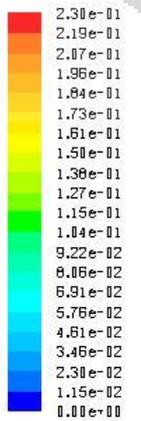
3m/s



6m/s

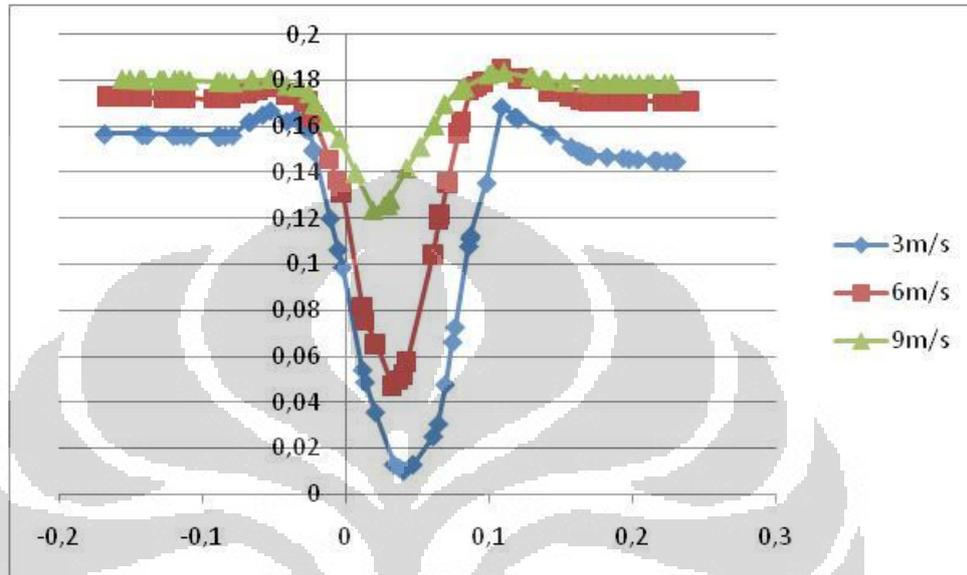


9m/s



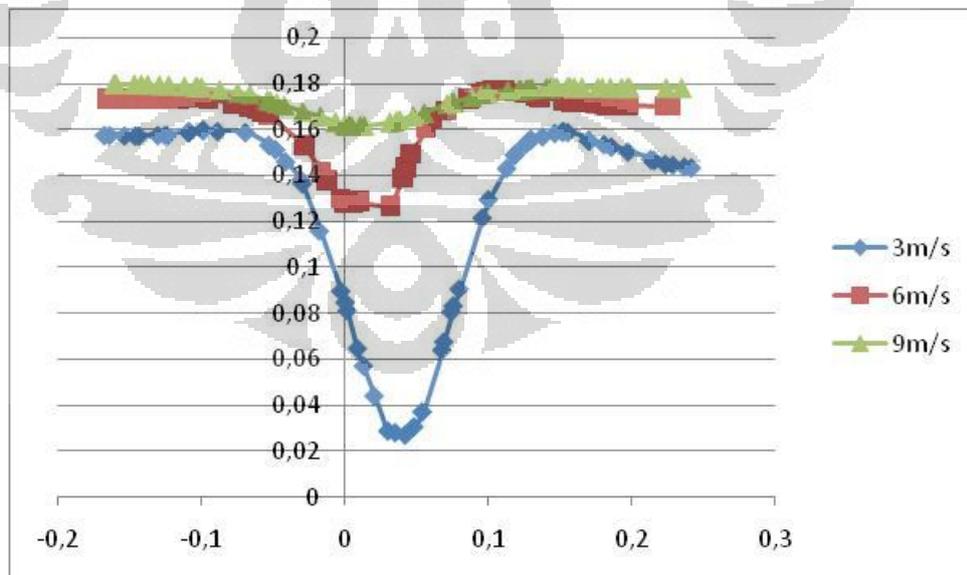
Analisa per plane :

O₂ pada plane x=0.3



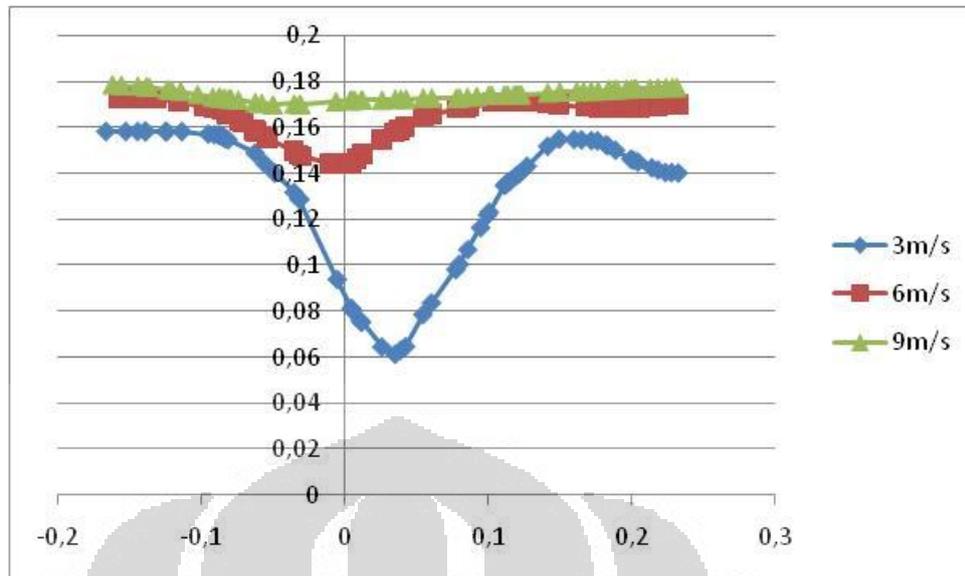
grafik 10

O₂ pada plane x = 0.4



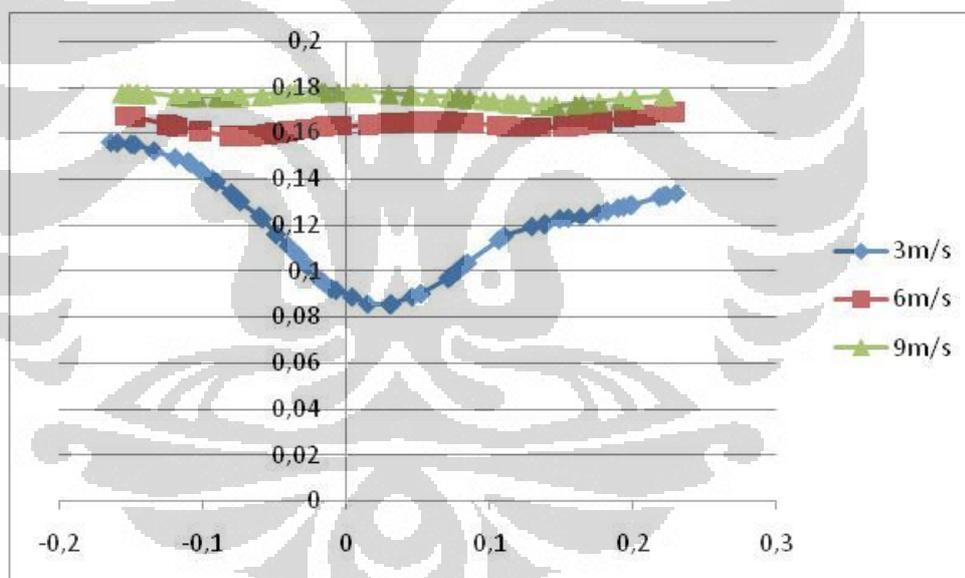
grafik 11

O₂ pada plane x =0.5



grafik 12

O2 pada plane x = 0.75



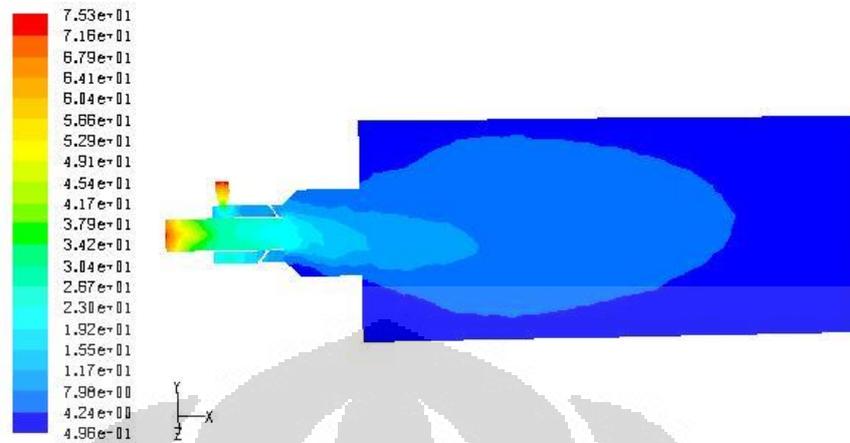
grafik 13

4.1.4 Turbulence Intensity

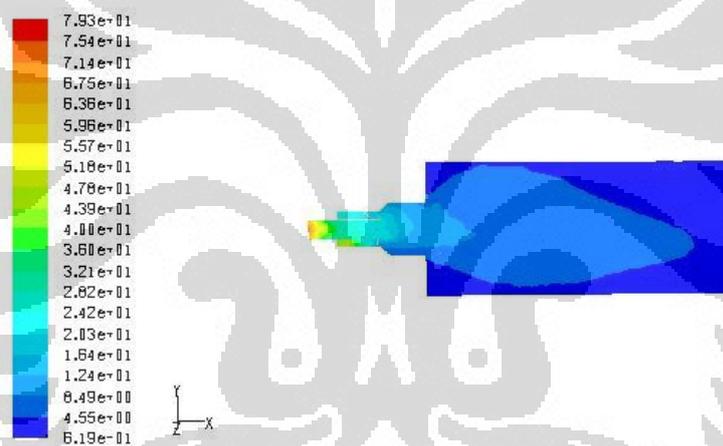
Analisa *turbulence intensity* akan dilakukan dengan cara melihat profil pada plane tengah, dan plane $x=0.3$, $x=0.4$, $x=0.5$ dan $x=0.75$ dengan kecepatan udara yang divariasikan pada 3m/s, 6m/s, dan 9m/s.

Kontur *turbulence intensity* pada plane tengah:

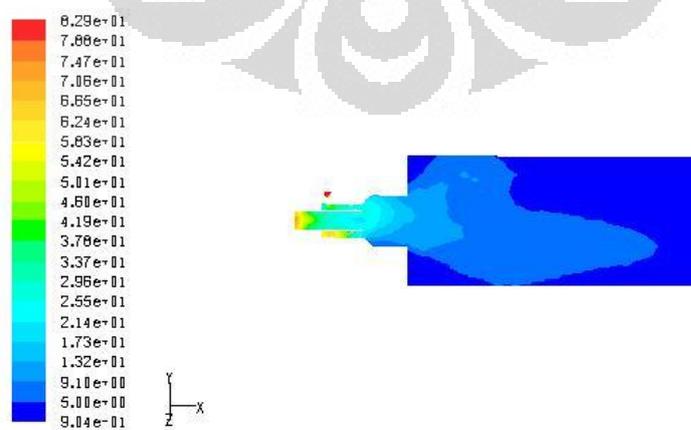
3m/s:



6m/s

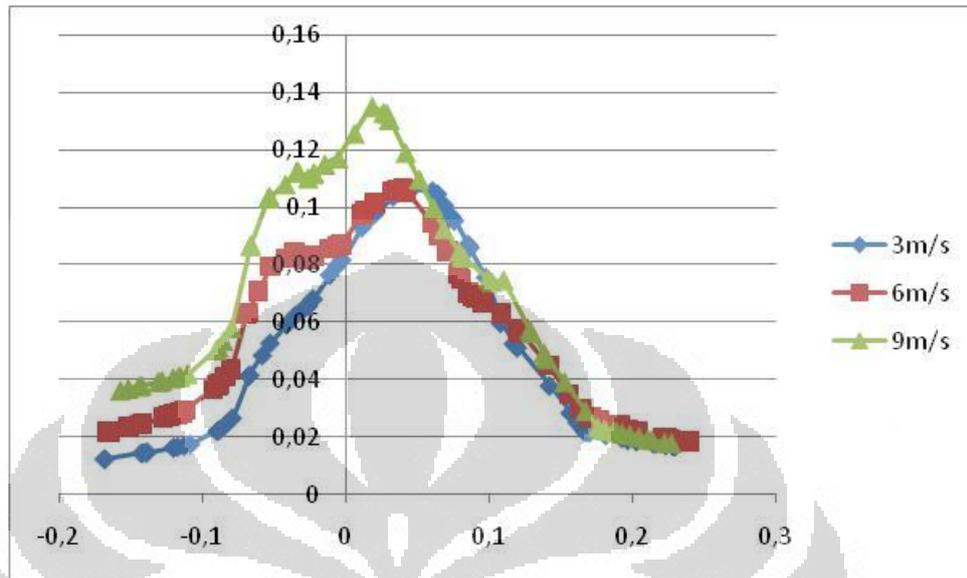


9m/s



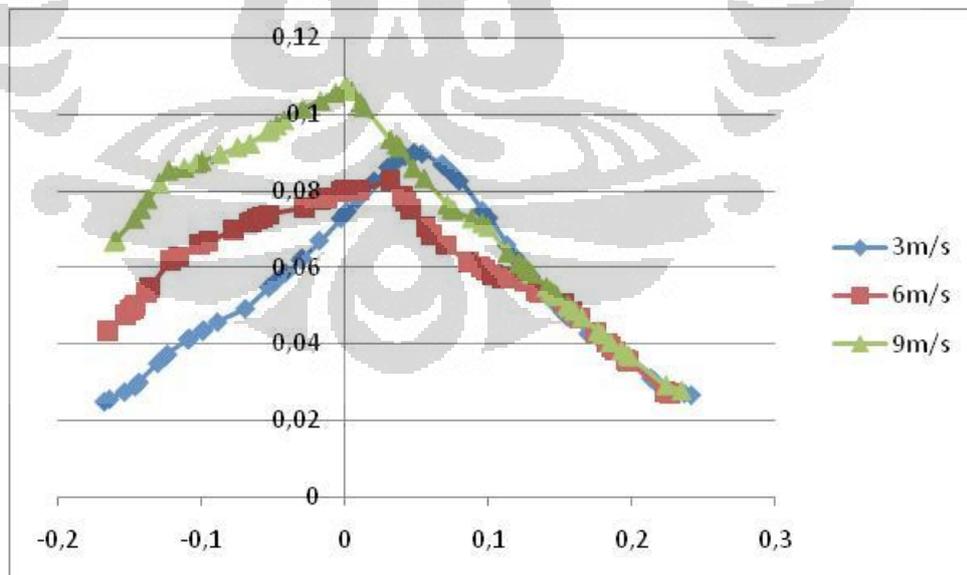
Analisa per plane :

Turbulence Intensity pada plane $x=0.3$



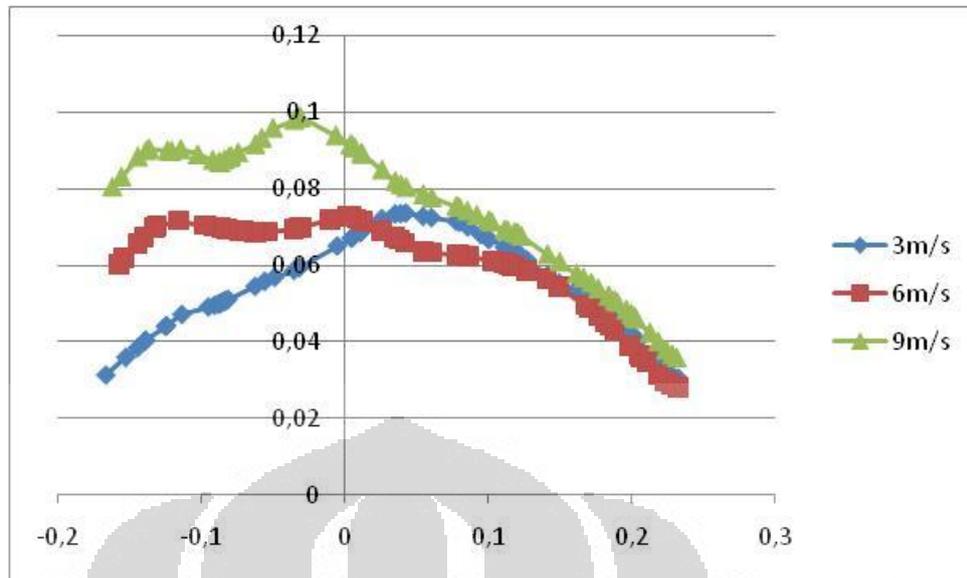
grafik 14

Turbulence Intensity pada plane $x = 0.4$



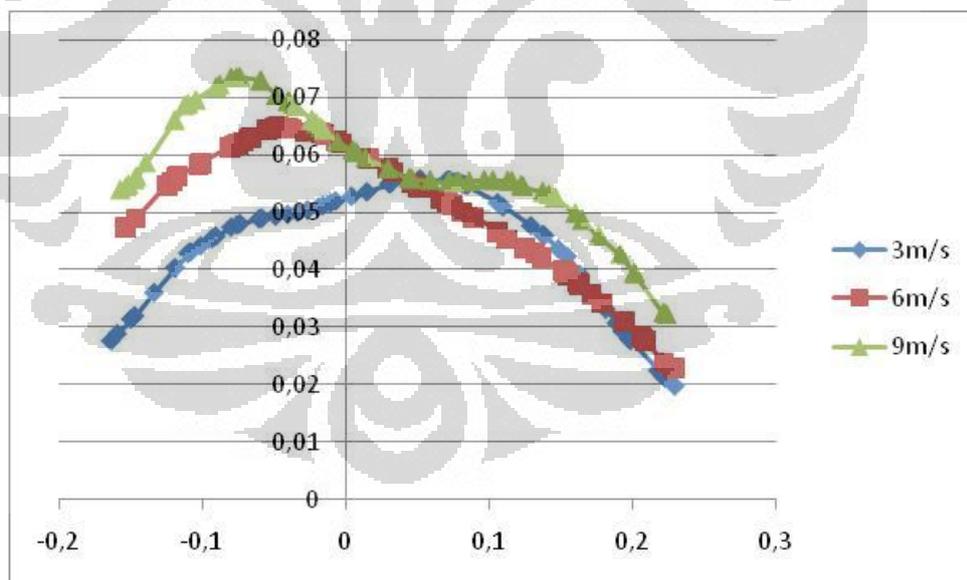
grafik 15

Turbulence Intensity pada plane $x = 0.5$



grafik 16

Turbulence Intensity pada plane $x = 0.75$



grafik 17

4.2 Analisa

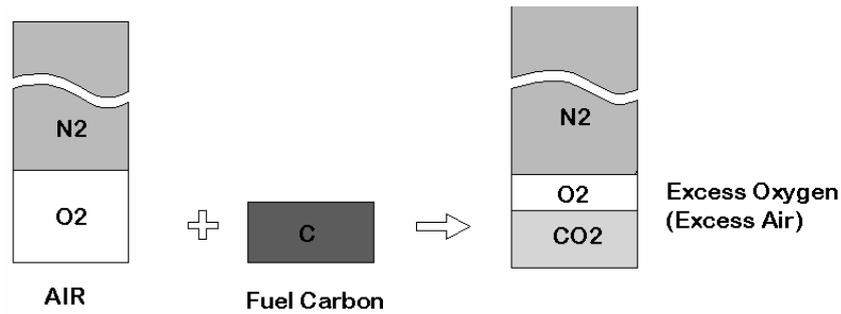
Dari hasil grafik dan kontur diatas, dapat dilihat bahwa temperature pada kecepatan udara $v=3\text{m/s}$ ternyata menghasilkan temperature nyala api yang lebih merata dan lebih panjang dibandingkan dengan kecepatan 6m/s dan 9m/s , dan juga temperature yang dihasilkan pada kecepatan udara 3m/s lebih tinggi. Tetapi peak temperature pada kecepatan yang lebih rendah terjadi lebih jauh di combustion chamber, seperti terlihat pada grafik 1, dimana pada kecepatan 3m/s , temperature puncak terletak lebih jauh, tetapi temperatur tinggi bertahan lebih lama dan lebih panjang dibanding kecepatan 6m/s dan 9m/s yang langsung mengalami penurunan temperature drastis setelah mengalami puncak temperature.

Turbulensi juga memegang peranan penting dalam rata atau tidaknya api yang terjadi pada burner, ketika kecepatan semakin tinggi, intensitas turbulen meningkat pula, menyebabkan butuh waktu yang lebih lama untuk kehomogenan campuran tercapai. Menyebabkan api yang terjadi pendek dan temperature tidak merata.

Hal ini disebabkan ketika kecepatan di dalam combustion chamber semakin membesar seiring dengan membesarnya nilai kecepatan masuk tangential yang artinya $\dot{m}_t = \text{flowrate massa udara tangensial}$, $\dot{m}_{\text{total}} = \text{flowrate massa total}$ meningkat. Yang artinya pula nilai dari swirl number geometris juga meningkat namun belum diketahui apakah peningkatan ini akan terus berlanjut atau ada titik dimana akan terjadi penurunan.

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

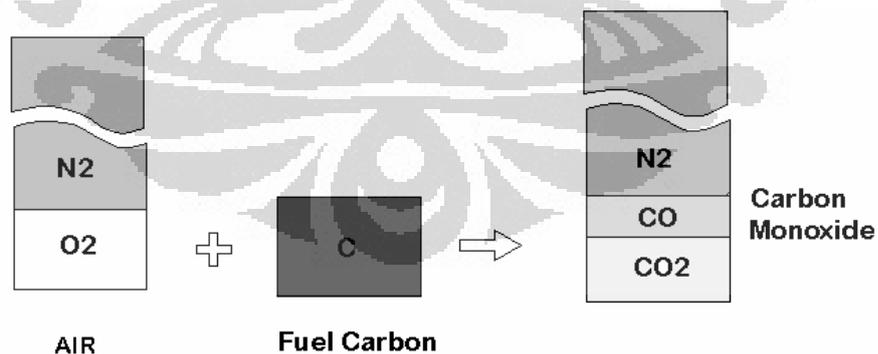
Ketika mass flowrate meningkat, jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dan akan ada udara berlebih, atau sering disebut *excess air*. seperti gambar dibawah ini:



Fenomena ini dapat dilihat pada gambar kontur O_2 , dimana pada kecepatan 3m/s tidak banyak fraksi massa dari udara yang tersisa di combustion chamber. Tetapi pada 6m/s dan 9m/s, udara terlalu banyak sehingga perbandingan antara udara dan bahan bakar tidak seimbang menyebabkan api tidak bertahan lama. Udara berlebih yang dibutuhkan dapat dihitung dengan perhitungan dibawah ini :

$$\% \text{ Excess Air} = \frac{\% O_2 \text{ measured}}{20.9 - \% O_2 \text{ measured}} \times 100$$

Ketika udara tangensial yang disuplai ke burner terlalu sedikit, maka tidak cukup oksigen yang dibutuhkan untuk secara sempurna membentuk CO_2 dengan semua karbon yang ada pada bahan bakar.oleh karena itu, oksigen berkombinasi dengan karbon membentuk CO , seperti gambar dibawah ini:



Dapat kita lihat pada gambar diatas kadar co pada kecepatan 3m/s lebih lama habis daripada 6m/s dan 9m/s karena pada kecepatan lebih tinggi, yang diikuti dengan mass flowrate yang tinggi pula, CO dapat membentuk CO_2 lebih cepat karena banyaknya oksigen yang tersedia.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Gas burner berbahan bakar syngas yang mengalir aksial dan injeksi udara tangensial. Simulasi difokuskan pada variasi kecepatan injeksi udara tangensial dan pengaruh ada tidaknya konis pada gas burner.

Hasil yang didapatkan adalah semakin cepatnya aliran udara, intensitas turbulensi semakin tinggi, yang menyebabkan aliran semakin tidak homogen. Jadi dengan kecepatan 3m/s merupakan kecepatan yang paling optimal dibandingkan variasi lainnya, dimana temperature nyala api lebih merata dan lebih panjang. Jadi untuk aplikasi yang membutuhkan perpindahan panas yang merata akan lebih optimal.

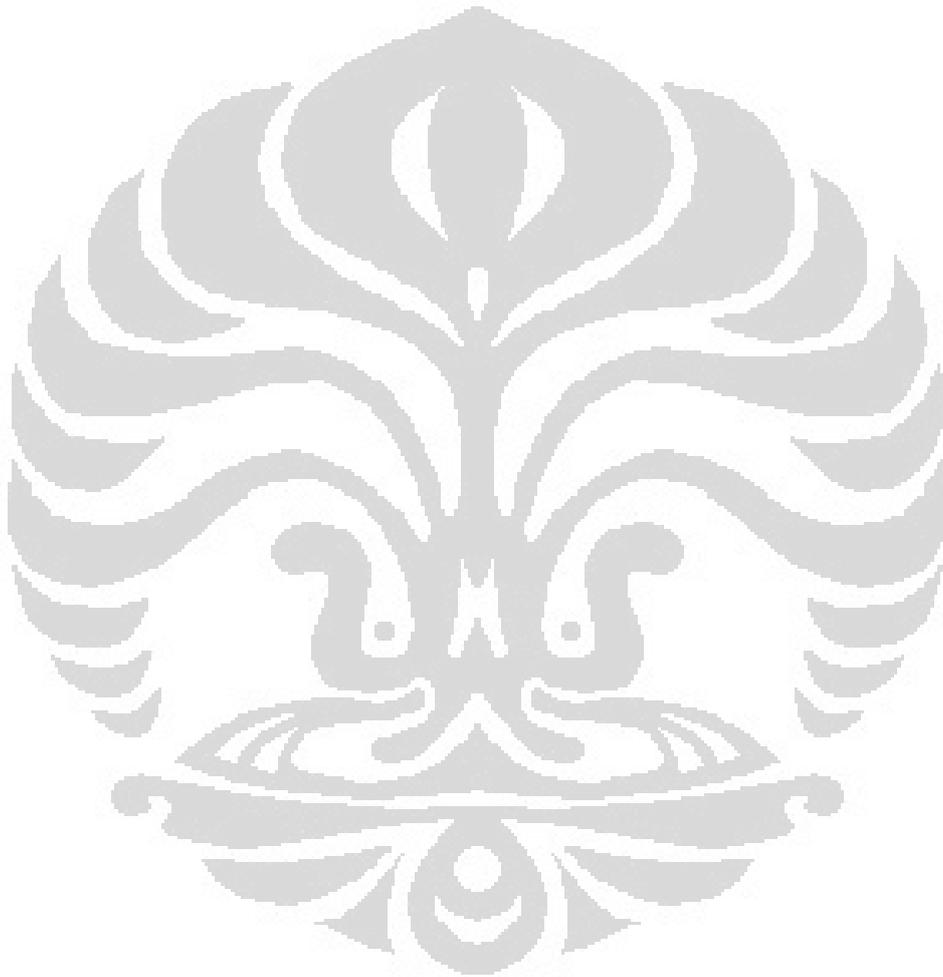
Kecepatan inlet udara yang tinggi membuat mass flow rate semakin tinggi pula, oleh karena itu excess air yang tersedia semakin banyak pula, excess air dibutuhkan untuk memastikan cukup oksigen untuk sepenuhnya bereaksi dengan bahan bakar . walaupun dibutuhkan, excess air yang terlalu besar beresiko dalam pemborosan bahan bakar. Ada beberapa alasan yang menyebabkannya, diantaranya diantaranya system suplai udara mendinginkan ruang bakar dengan cara menyerap panas dan keluar melalui saluran buang. Semakin banyak udara, semakin banyak pendinginannya. Nitrogen juga $> 70 \%$ merupakan kandungan dari udara yang tidak bereaksi secara kimia untuk menghasilkan panas.

Jadi, semakin cepat injeksi udara tangensial, semakin tinggi mass flowrate udara, semakin kecil kadar CO, tetapi efisiensi pembakaran akan menurun.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat saya berikan antara lain:

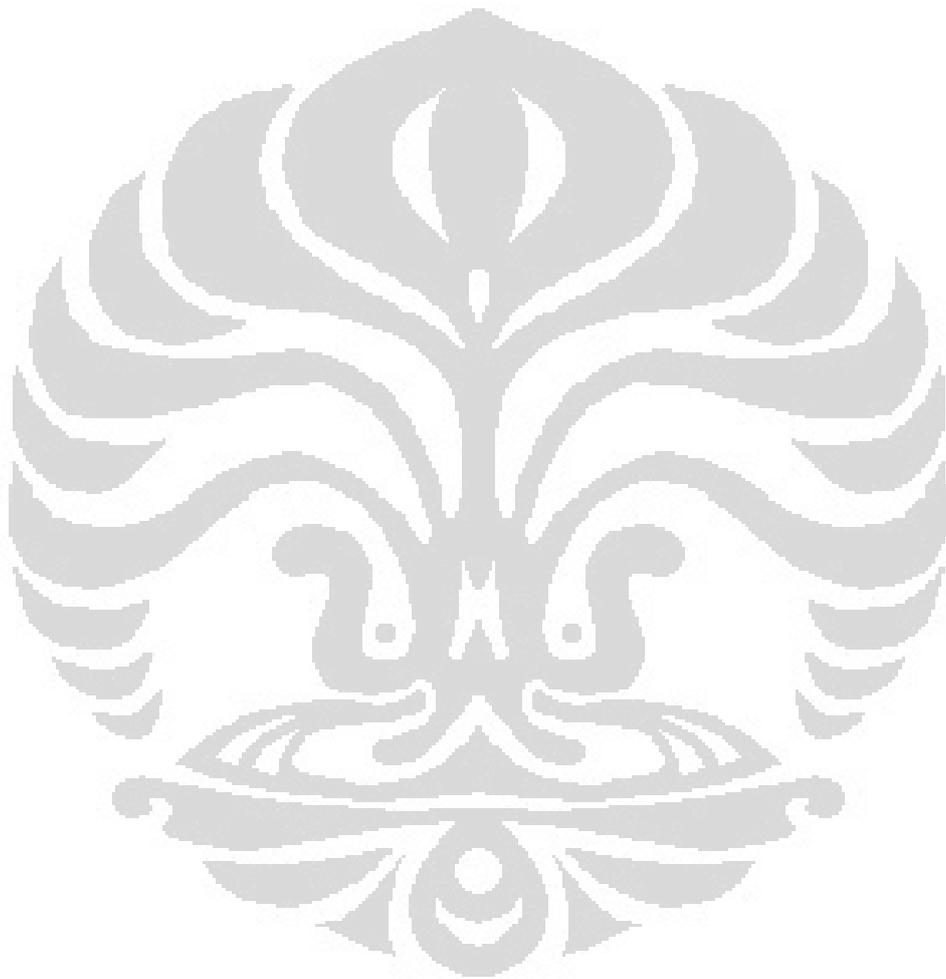
1. Diperlukan perhitungan tentang heat transfer yang terjadi, agar energi yang dihasilkan dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan.
2. Melakukan variasi terhadap sudut swirler pada burner.



REFERENSI

1. Versteeg, H K, W Malalasekera. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*. Malaysia : Longman Scientific & Technical.
2. Patankar, Suhas V. *Numerical Heat Transfer dan Fluid Flow*. Taylor & Francis
3. Lomax, Havard, Thomas H Pullian, David W Zingg. *Fundamental of Computational Fluid Dynamics*
4. Pradana, Binardi., "*Studi Pembakaran Gas Bernilai Kalor Rendah Sebagai Hasil Gasifikasi Dari Sebuah Non-Premixed Burner*". DTM FTUI, Depok (2005)
5. Mahdi, Jujul Faizal. "*Analisis Kecepatan dan Tekanan pada Mixer dengan CFD*". DTM FTUI, Depok
6. Munson, Bruce R. *Mekanika Fluida*. Jakarta : Erlangga
7. Surjosatyo,A. & 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, December (2005)
8. Surjosatyo, Adi. "*Peningkatan Kinerja Gas Burner DI Sistem Gasifikasi Batubara*". (Depok, 2007)
9. Jaafar, M N M. *The Influence of Variable Vane Angle Air Swirler on Reducing Emissions From Combustion Process*
10. Tutorial Fluent Inc

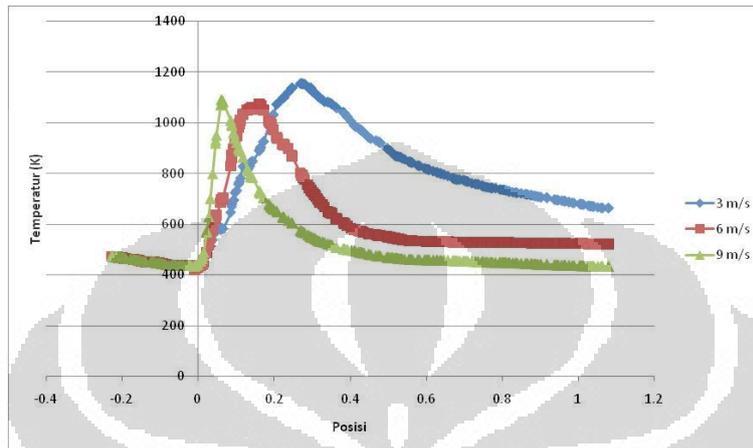
LAMPIRAN



LAMPIRAN 1 HASIL SIMULASI GAS BURNER MENGGUNAKAN KONIS

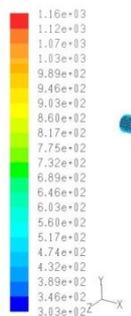
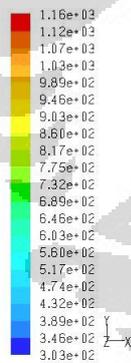
1. TEMPERATUR

Profil temperature pada plane tengah :

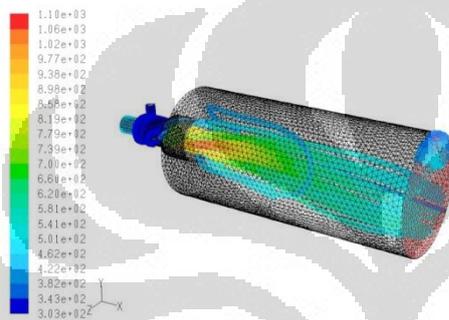
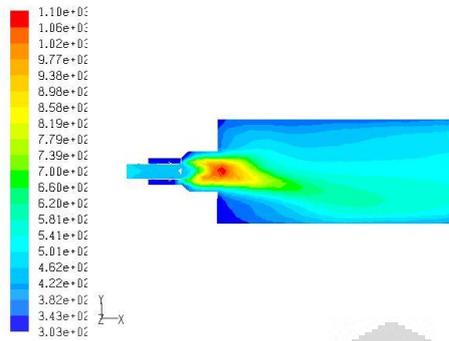


Kontur plane tengah :

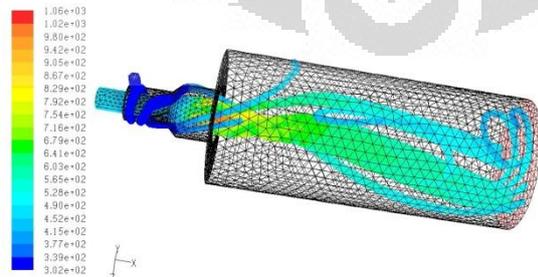
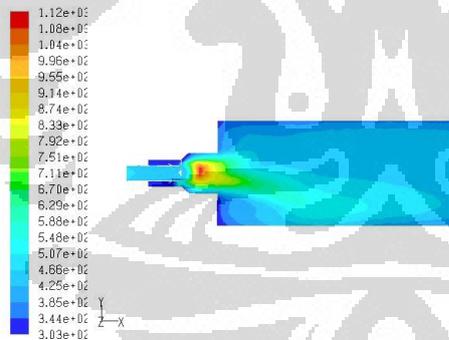
V=3 m/s



V=6m/s



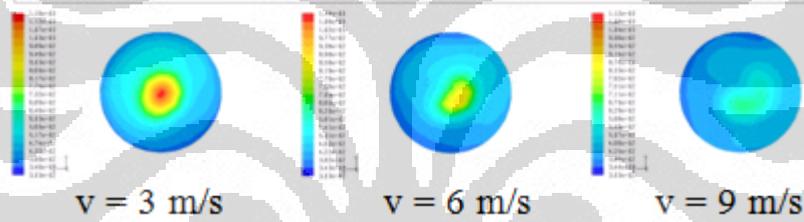
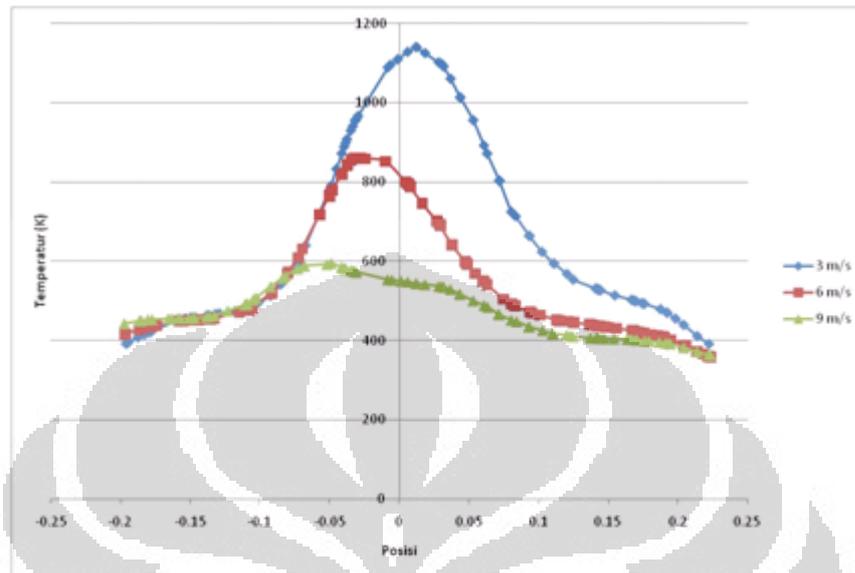
V=9m/s



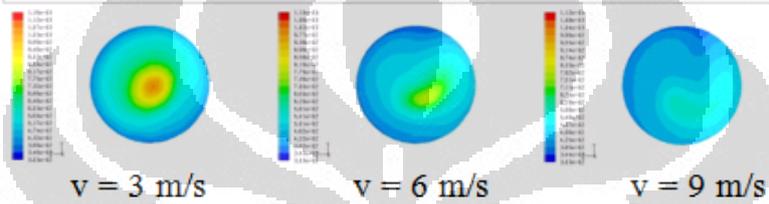
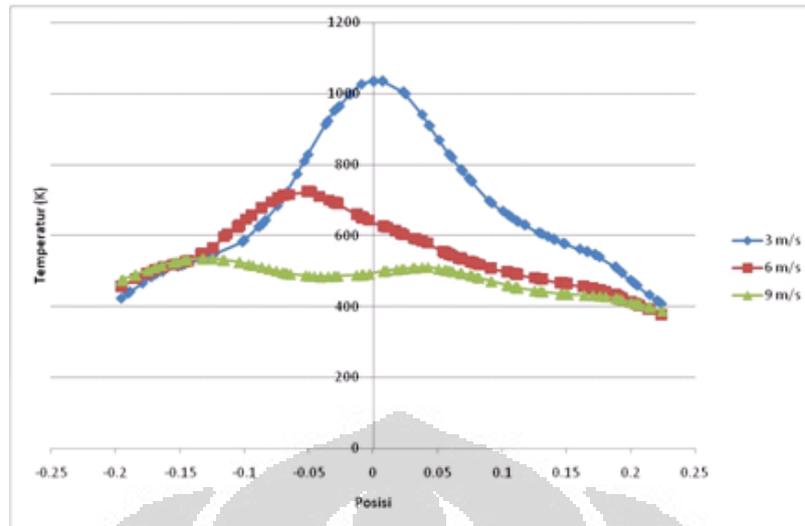
Pathlines Colored by Total Temperature (k) Jun 18, 2009
 FLUENT 6.3 (3d, pbns, sp6, ske)

Profil temperature per plane :

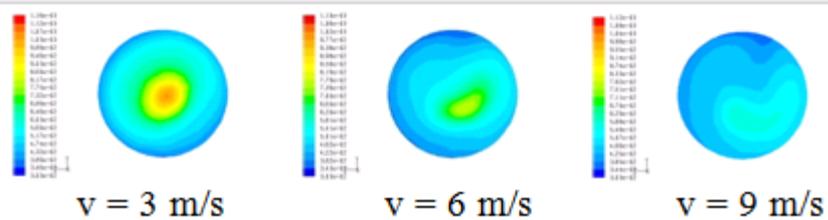
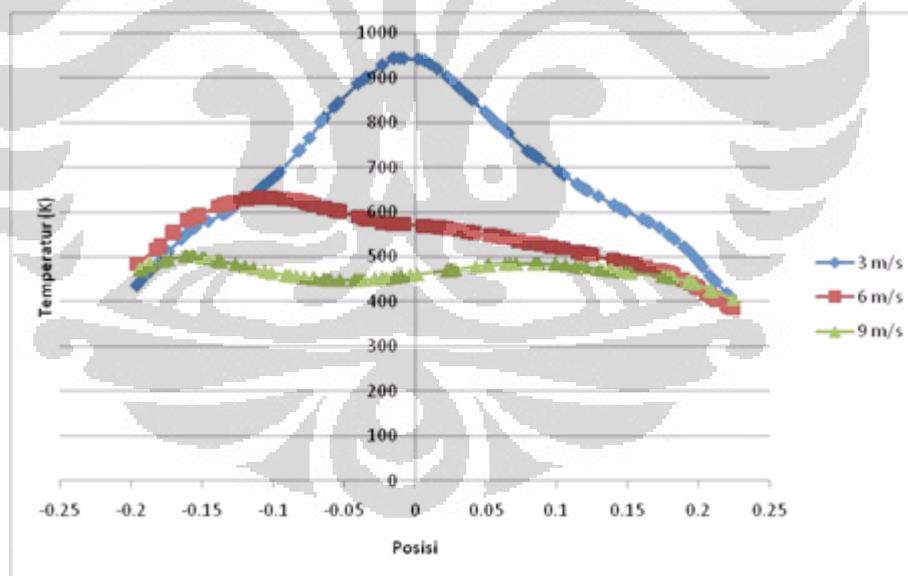
temperatur pada plane $x=0.3$



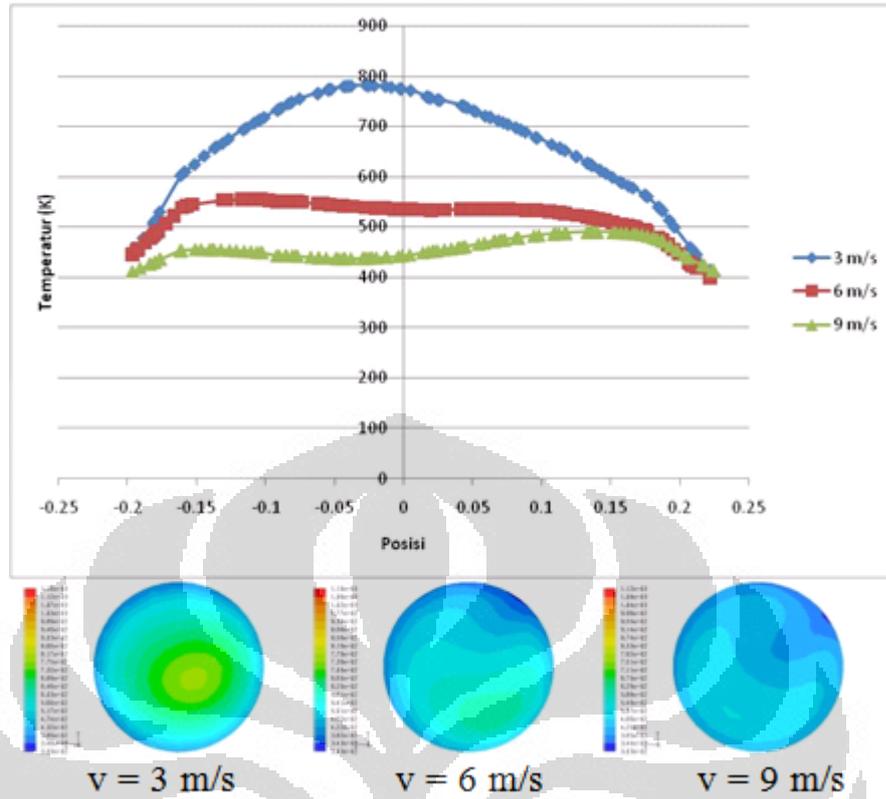
temperatur pada plane $x = 0.4$



temperatur pada plane $x = 0.5$



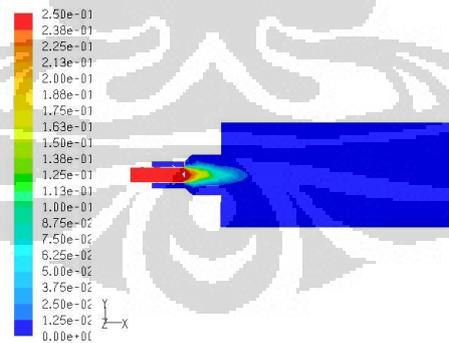
temperatur pada plane $x = 0.75$



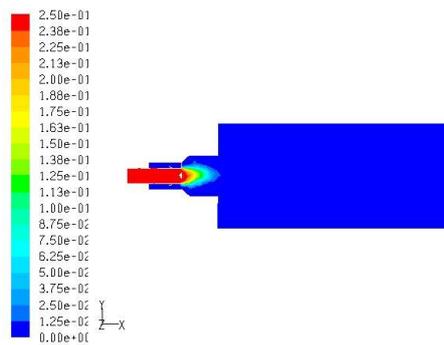
2 KADAR CO

Kontur CO pada plane tengah :

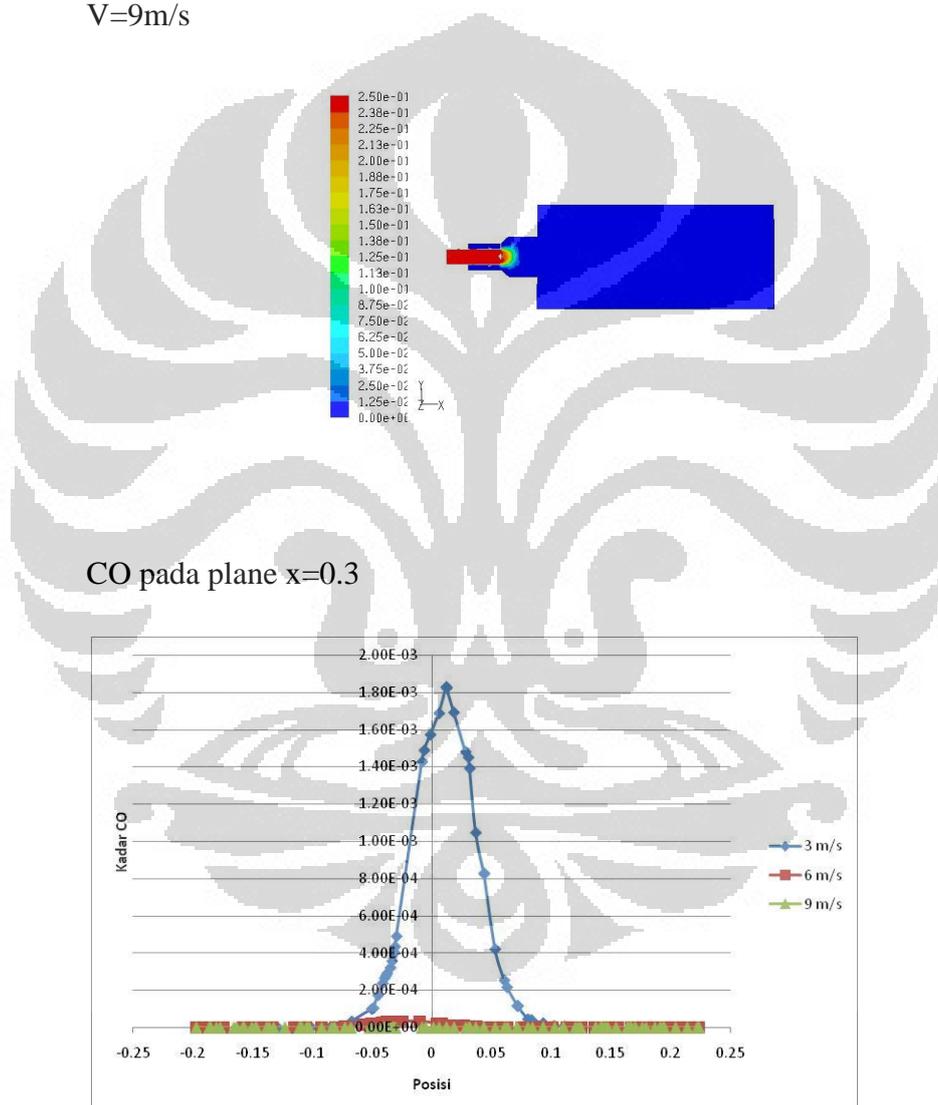
V=3m/s



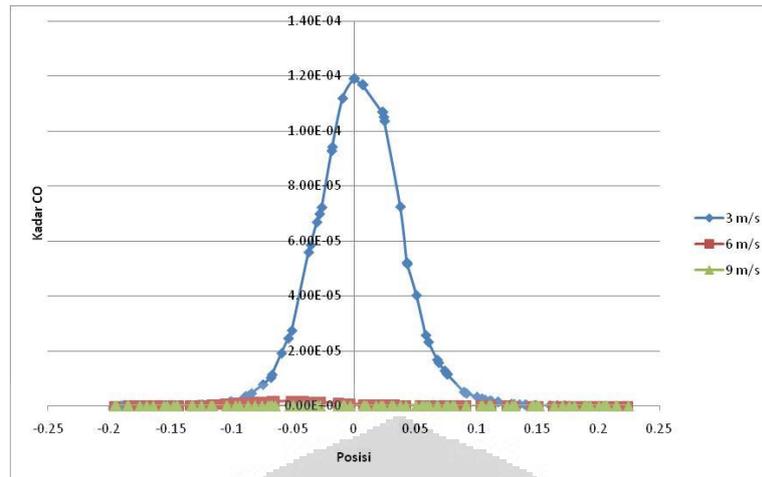
V=6m/s



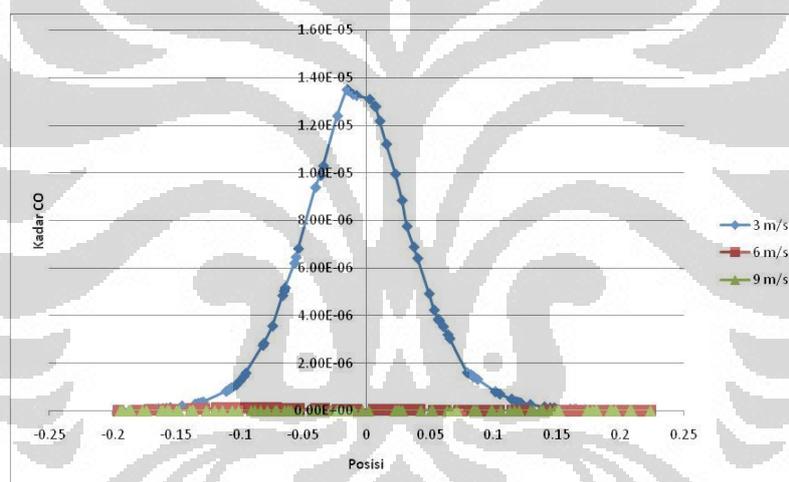
$V=9\text{m/s}$



CO pada plane $x = 0.4$



CO pada plane $x = 0.5$

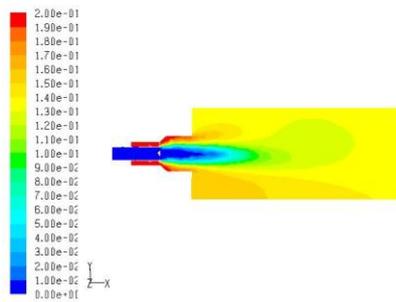


CO pada plane $x = 0.75$

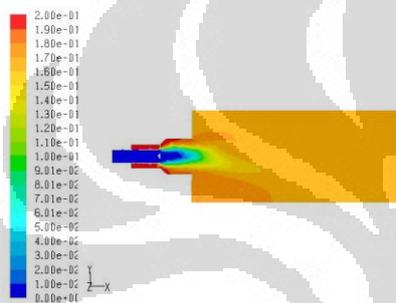
3 KADAR O2

Kontur O2 pada plane tengah:

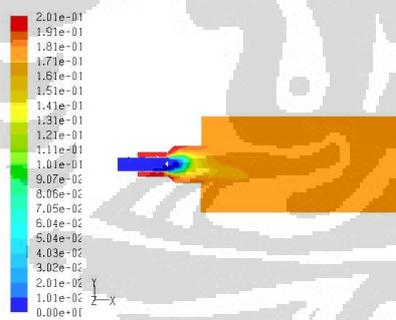
3m/s

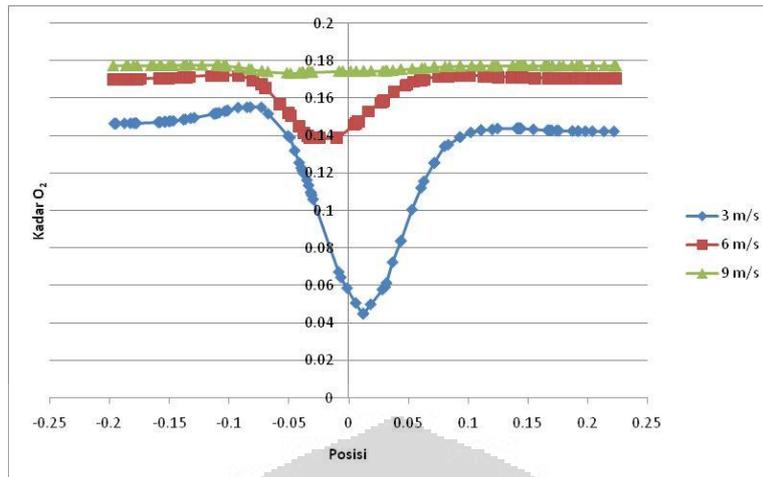


6m/s

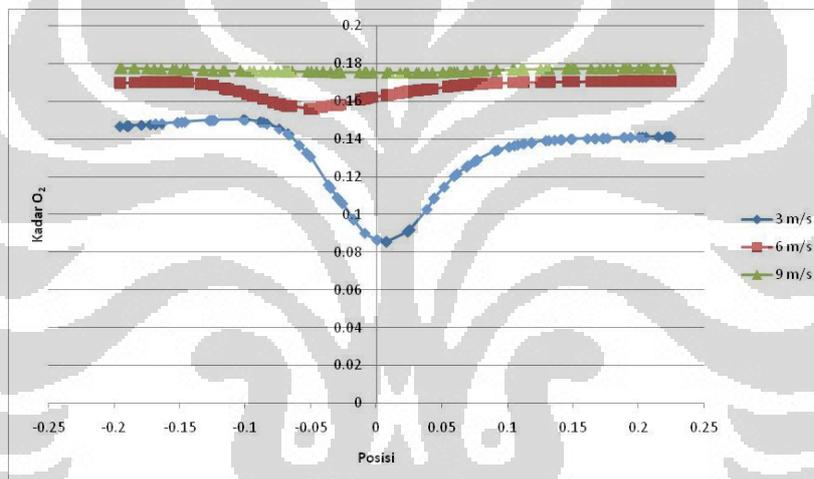


9m/s

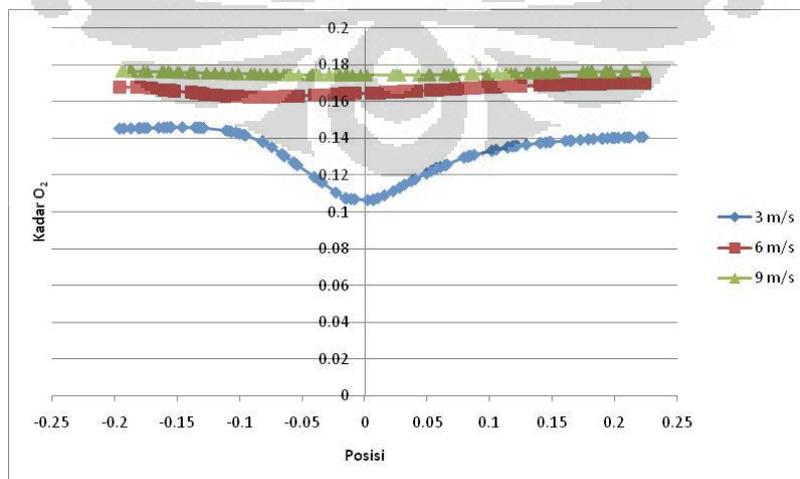
O₂ pada plane x=0.3



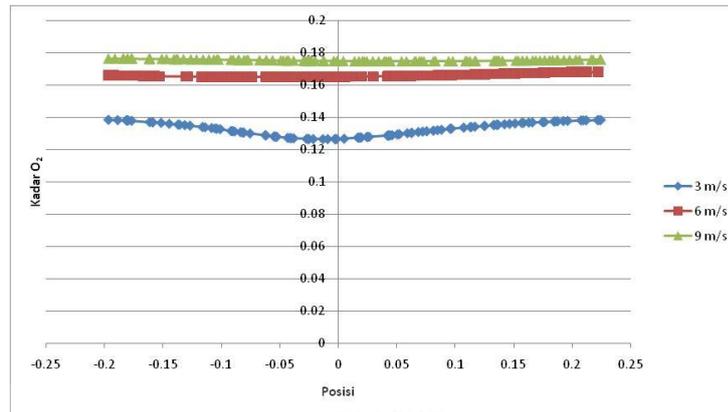
O2 pada plane x = 0.4



O2 pada plane x =0.5



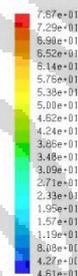
O2 pada plane x = 0.75



4 INTENSITAS TURBULEN

Kontur *turbulence intensity* pada plane tengah:

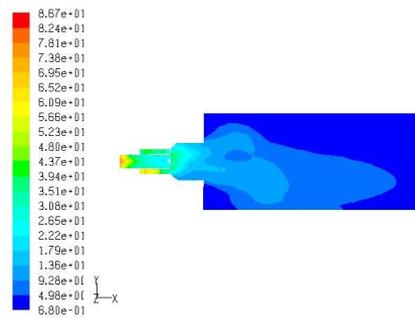
3m/s:



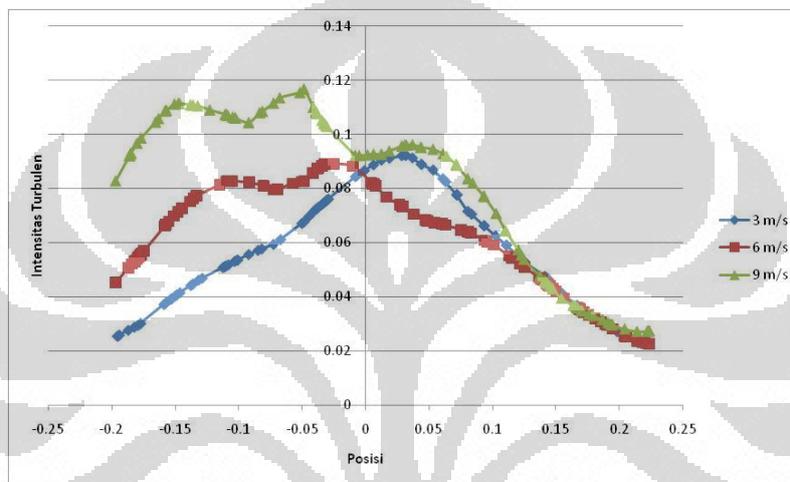
6m/s



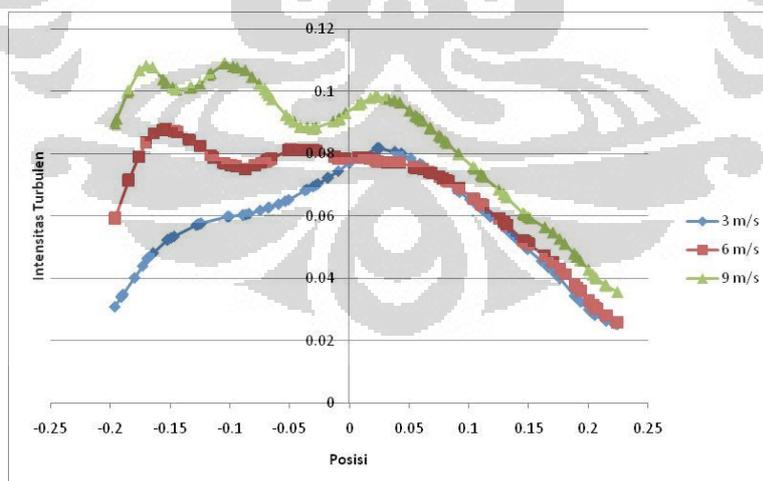
9m/s



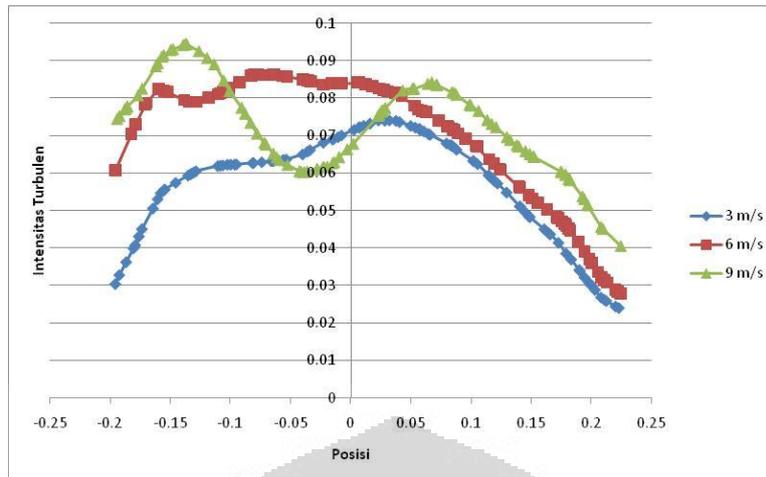
Turbulence Intensity pada plane $x=0.3$



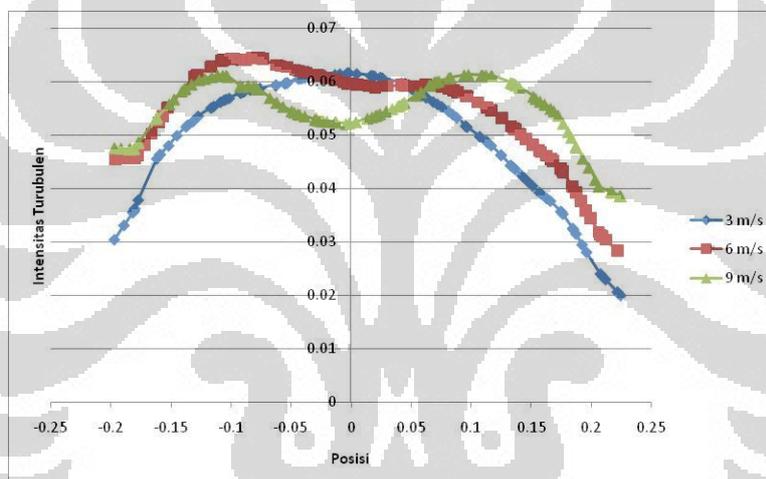
Turbulence Intensity pada plane $x = 0.4$



Turbulence Intensity pada plane $x = 0.5$

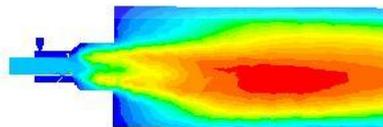
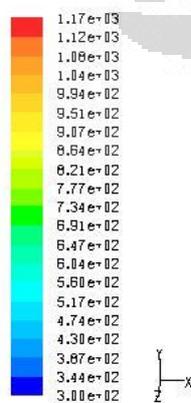


Turbulence Intensity pada plane $x = 0.75$

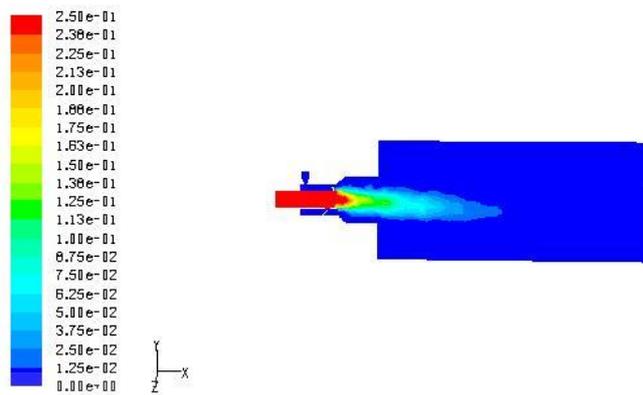


Kecepatan 1.5 m/s

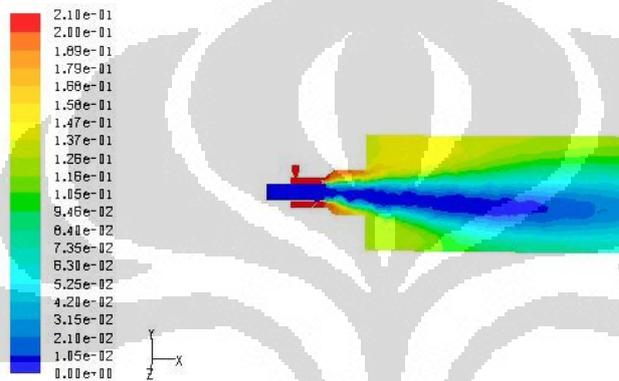
1. Temperatur



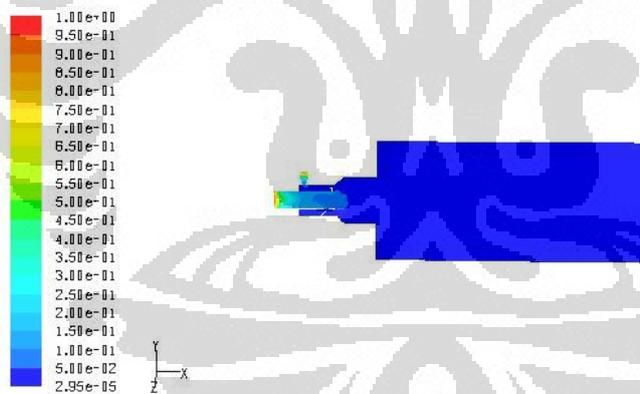
2. Kadar CO



3. Kadar O₂



4. Turbulence Intensity



**LAMPIRAN 2 FOTO HASIL PERCOBAAN DI LABORATORIUM
GASIFIKASI DTM-FTUI**

