



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR SOLAR PADA
EXISTING PREMIXED FUEL BURNER DENGAN METODA
*3D COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

SKRIPSI

ILHAM RIADHI

06 06 07 32 34

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR SOLAR PADA
EXISTING PREMIXED FUEL BURNER DENGAN METODA
*3D COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ILHAM RIADHI

06 06 07 32 34

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
DESEMBER 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 : Ilham Riadhi

NPM : 06 06 07 32 34

Tanda Tangan : 

Tanggal : 15 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ilham Riadhi

NPM : 06 06 07 32 34

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : STUDI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR SOLAR
PADA *EXISTING PREMIXED FUEL BURNER*
DENGAN METODA *3D COMPUTATIONAL FLUID*
DYNAMIC

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., M.Eng



Penguji : Ir. Agung Subagio, Dipl.-Ing.



Penguji : Prof. Ir. Yulianto Sulistyono, M.Sc., Ph.D



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Desember 2010

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nyalah 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) Kedua orang tua tercinta, Reddy Harman dan Indira serta penghuni rumah Ii, Uni Dina, Ridho yang selalu memberikan bantuan dan dukungan moral dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
- 3) Tante Pini, Om Chandra dan Umak yang juga telah memberikan *support*-nya dalam menyelesaikan masa kuliah dan dalam penyelesaian skripsi ini.
- 4) Teman – teman seperjuangan teknik mesin 2006 yang membantu dengan cara yang berbeda selama masa perkuliahan dan pada masa penyusunan skripsi, Anggar, Arya, Arga, Aldoy, Anton, Hery, Iqbal, Wiko, Fajar, Nursanty, Ferdy, Gunawan dan nama-nama lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih atas segala bantuannya selama 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, 15 Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ilham Riadhi
NPM : 06 06 07 32 34
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

STUDI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR SOLAR PADA *EXISTING PREMIXED FUEL BURNER* DENGAN METODA 3D *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*

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 : 15 Desember 2010

Yang menyatakan



(Ilham Riadhi)

ABSTRAK

Nama : Ilham Riadhi

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Studi Pembakaran Bahan Bakar Solar Pada *Existing Premixed Fuel Burner* Dengan Metoda *3D Computational Fluid Dynamic*

Pemanasan pada *asphalt plants* dilakukan dengan menggunakan *burner* sebagai alat pencampur bahan bakar dan udara sebagai oksidator pada proses pembakaran. Salah satu masalah yang ada pada *burner* ini adalah belum meratanya distribusi temperatur di dalam *drum* atau kiln sebagai alat pemanasan material pembuat aspal. Dilakukan simulasi menggunakan *software* fluent untuk mendapatkan distribusi temperatur yang terbaik dengan melakukan variasi pada bukaan kedua klep dan nilai *equivalence ratio* sebagai indikator banyaknya jumlah bahan bakar pada *burner*. Parameter yang diasumsikan adalah temperatur udara dan bahan bakar 300,15 K, reaksi pembakaran yang terjadi adalah reaksi pembakaran sempurna, fraksi massa bahan bakar solar (C₁₆H₂₉) adalah 100%. Variasi dilakukan dengan mengubah nilai *equivalence ratio* pada *burner* yaitu 0,29, 0,385, 0,6 dan 1,2. Variasi juga dilakukan dengan merubah bukaan klep udara sekunder dan bukaan klep udara primer dengan konfigurasi 80⁰-20⁰ , 70⁰-30⁰ , 60⁰-50⁰ dan 50⁰-60⁰. Hasil yang didapatkan dari simulasi adalah distribusi temperatur akan semakin tinggi apabila konfigurasi dari bukaan klep lebih besar bukaan klep udara sekunder dibandingkan dengan bukaan klep udara primer dan nilai *equivalence ratio* yang baik untuk *burner* dengan dua buah *swirl* ini adalah mendekati nilai *equivalence ratio* 1,2.

Kata kunci : *swirl*, kiln, *burner*, *equivalence ratio*, *computational fluid dynamic*

ABSTRACT

Name : Ilham Riadhi
Program Study : Mechanical Engineering
Title : Diesel Fuel Combustion Studies on Premixed Fuel Burner with 3d Computational Fluid Dynamic method

Warming on asphalt plants is done by using burner as a means of mixing fuel and air as an oxidant in the combustion process. One of the problems that exist in this burner is the uneven temperature distribution in the drum or kiln. So, the simulations using fluent software is done to obtain the best temperature distribution by variations on the two valve openings and the value of equivalence ratio as an indicator of the large number of fuel at the burner. The parameters assumed are the air and fuel temperature is 300.15 K, the combustion reaction that occurs is the complete combustion reaction, the mass fraction of diesel fuel (C₁₆H₂₉) is 100%. Variations performed by changing the value of equivalence ratio at the burner is 0.25, 0.385, 0.6 and 1.2. Variation was also done by changing the secondary air valve opening and opening the primary air valve configuration with 80°-20°, 70°-30°, 60°-50° and 50°-60°. Results obtained from the simulation are distribution of temperature will be higher if the configuration of the secondary air valve is larger than the opening of the primary air valve dan the equivalence ratio that is good for this two swirled burner is if the value of equivalence ratio is approached 1,2.

Key word : swirl, kiln, burner, equivalence ratio, computational fluid dynamic

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Judul Penelitian.....	1
1.2 Latar Belakang.....	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 <i>Ashpalt Manufacturing</i>	6
2.1.1 Bahan Dasar <i>Ashpat</i>	6
2.1.2 Macam <i>Hot Ashpalt Mixing Plant</i>	7
2.2 EQUIVALENT RATIO.....	9
2.2.1 Pengertian Pembakaran.....	9
2.2.2 Equivalence ratio.....	10
2.2.3 Perhitungan AFR Stoikiometrik.....	10
2.3 KUALITAS PERCAMPURAN.....	11
2.4 Swirl Number.....	12

2.5 Teknik Komputasi.....	17
BAB 3 PEMODELAN.....	20
3.1 Pemodelan.....	20
3.2 Perhitungan Equivalent Ratio	21
3.3 Desain <i>Burner</i>	24
3.3.1 Inlet udara dan Inlet Bahan Bakar.....	24
3.3.2 Atomizer	27
3.3.3 Swirl Vane	28
3.4 Mesh dan Boundary	31
3.5 Langkah-Langkah Permodelan	33
3.5.1 Grid	33
3.5.2 Models.....	34
3.5.3 Materials	36
3.5.4 Boundary Condition.....	37
3.5.5 Operating condition.....	40
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	41
4.1 Hasil	41
4.1.1 Grafik Bukaan Klep 80-20 dengan Variasi <i>Equivalent Ratio</i>	44
4.1.2 Grafik Bukaan Klep 70-30 dengan Variasi <i>Equivalent Ratio</i>	47
4.1.3 Grafik Bukaan Klep 60-50 dengan Variasi <i>Equivalent Ratio</i>	50
4.1.4 Grafik Bukaan Klep 50-60 dengan Variasi <i>Equivalent Ratio</i>	53
4.1.5 Grafik Variasi Bukaan Klep dengan <i>Equivalent Ratio</i> 0,29	54
4.1.6 Grafik Variasi Bukaan Klep dengan <i>Equivalent Ratio</i> 0,385	55
4.1.7 Grafik Variasi Bukaan Klep dengan <i>Equivalent Ratio</i> 0,6	56
4.1.8 Grafik Variasi Bukaan Klep dengan <i>Equivalent Ratio</i> 1,2	57
4.2 Analisa	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60

5.2 Saran	61
DAFTAR REFERENSI.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Bahan Pasir untuk Pembuatan Aspal	7
Gambar 2- 2 <i>Continuous Flow Ashpalt Plants</i>	8
Gambar 2- 3 <i>Drum Mix Ashpalt Plants</i>	9
Gambar 2- 4 Zona Resirkulasi pada Pusaran	13
Gambar 2- 5 Zona Resirkulasi pada Non-Premixed <i>Swirl Burner</i>	13
Gambar 2- 6 Api pada Nozzle Mix <i>Burner</i> . a) Long Jet Flame, No <i>Swirl</i> ; b.) Kombinasi Jet Flame dan Zona Resirkulasi Internal Parsial, Intermediate <i>Swirl</i> ; c.) Zona Resirkulasi Internal, High <i>Swirl</i>	14
Gambar 2- 7 Skematik Non-Premixed <i>Swirl Burner</i> , Quarl, dan Combustion Chamber.....	16
Gambar 3- 1 Geometri <i>Burner</i>	24
Gambar 3- 2 Arah Aliran Udara dan Bahan Bakar pada <i>Burner</i>	25
Gambar 3- 3 Letak Klep Dalam <i>Burner</i>	26
Gambar 3- 4 Variasi Bukaannya Klep (<i>Butterfly</i>)	26
Gambar 3- 5 Dimensi Inlet Udara Primer Dan Sekunder	27
Gambar 3- 6 Disain Inlet Bahan Bakar	27
Gambar 3- 7 Geometri Atomizer	28
Gambar 3- 8 Geometri <i>Swirl</i> pada Pipa Udara Sekunder	28
Gambar 3- 9 Geometri <i>Swirl</i> pada Pipa Primer	29
Gambar 3- 10 Pemodelan Untuk Simulasi.....	30
Gambar 3- 11 Dimensi Kiln.....	30
Gambar 3- 12 Geometri <i>Burner</i> Saat Ditukar Bagian Solid dan Bagian Ruang Kosong	30
Gambar 3- 13 Melakukan Mesh Edges Dengan Interval Size yang Berbeda dan Window Mesh Edges	31
Gambar 3- 14 Hasil Meshing dan Gambar Jendela untuk Mesh Volume.....	32
Gambar 3- 15 Penentuan Boundary Condition	32
Gambar 3- 16 Grid <i>Burner</i>	34
Gambar 3- 17 untuk Mendefinisikan Solver yang Digunakan	34
Gambar 3- 18 Untuk Mengaktifkan Persamaan Energi.	35

Gambar 3- 19 Untuk Mengaktifkan Model Turbulensi	35
Gambar 3- 20 Untuk Mengaktifkan Spesies Kimia Reaksi dan Perpindahan.	36
Gambar 3- 21 Untuk Mendefinisikan Material dan Reaksi	36
Gambar 3- 22 Jendela untuk Memasukkan Reaksi yang Ada.....	37
Gambar 3- 23 Untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Bahan Bakar	38
Gambar 3- 24 Jendela untuk pemilihan outlet.	39
Gambar 3- 25 Jendela untuk Mengaktifkan Parameter Kondisi Kerja dengan Gaya Gravitasi.	40
Gambar 4- 1 Ilustrasi Nilai Jarak pada Sumbu X	41
Gambar 4- 2 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,29.....	42
Gambar 4- 3 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,385.....	42
Gambar 4- 4 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,6.....	43
Gambar 4- 5 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 1,2.....	43
Gambar 4- 6 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,29.....	45
Gambar 4- 7 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,385.....	45
Gambar 4- 8 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,6.....	46
Gambar 4- 9 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 1,2.....	46
Gambar 4- 10 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,29.....	48
Gambar 4- 11 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,385... ..	48
Gambar 4- 12 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,6.....	49
Gambar 4- 13 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 1,2.....	49
Gambar 4- 14 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,29.....	51
Gambar 4- 15 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,385.....	51
Gambar 4- 16 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,6.....	52
Gambar 4- 17 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 1,2.....	52

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4- 1 Distribusi Temperatur Bukaannya 80-20 dengan Variasi EQR.....	44
Grafik 4- 2 Distribusi Temperatur Bukaannya 70-30 dengan Variasi EQR.....	47
Grafik 4- 3 Distribusi Temperatur Bukaannya 60-50 dengan Variasi EQR.....	50
Grafik 4- 4 Distribusi Temperatur Bukaannya 50-60 dengan Variasi EQR.....	53
Grafik 4- 5 Distribusi Temperatur EQR 0,29 dengan Variasi Bukaannya Klep	54
Grafik 4- 6 Distribusi Temperatur EQR 0,385 dengan Variasi Bukaannya Klep	55
Grafik 4- 7 Distribusi Temperatur EQR 0,6 dengan Variasi Bukaannya Klep	56
Grafik 4- 8 Distribusi Temperatur EQR 1,2 dengan Variasi Bukaannya Klep	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 JUDUL PENELITIAN

Studi Pembakaran Bahan Bakar Solar pada *Existing Premixed Fuel Burner* dengan Metoda 3D *Computational Fluid Dynamic*

1.2 LATAR BELAKANG

Pada saat ini, banyak industri yang telah menyadari bahwa usaha untuk meningkatkan efisiensi pada produksinya dengan cara mengoptimalkan kinerja peralatan akan dapat menghasilkan keuntungan bagi perusahaan. Produksi yang berkelanjutan akan menghasilkan produk yang akan terus berkembang dan dengan melakukan riset serta studi akan menghasilkan suatu produk yang lebih baik dibandingkan dengan produk yang sebelumnya. Pengembangan dari suatu produk lama menjadi produk baru tentunya tidaklah mudah, dan akan menimbulkan permasalahan baru dari kinerja produk baru tersebut.

Di dalam hal ini, salah satu contoh adalah produk *burner* yang diproduksi oleh PT. X yang ingin dikembangkan dan diperbesar hasil produksinya dan sekarang telah menjadi *burner* generasi terbaru. Tentunya pada generasi terbaru mengalami pengembangan, yaitu panjang kiln yang lebih panjang dibandingkan dengan generasi terdahulunya. *Burner* ini digunakan untuk pemanasan diposisikan pada salah satu ujung dari kiln. Batu yang dimasukkan dengan menggunakan *conveyor* diputar di dalam kiln dengan mengambil panas dari api *burner*. Batu yang masuk dengan suhu ruangan, setelah keluar dari kiln menjadi batu yang kelembapannya telah dikurangi dengan temperatur yang cukup panas. Dasar-dasar yang dipakai pada generasi terbaru tentunya tidaklah berbeda dibandingkan dengan generasi terdahulunya, akan tetapi timbul suatu masalah yang tentunya dengan analisis dan penelitian yang teliti dan berkelanjutan akan dapat mengatasi

masalah yang timbul tersebut. *Ouput* atau hasil yang diharapkan dari *burner* dan kiln generasi terbaru ini adalah berupa batu yang telah berkurang *moisture content*-nya tidak dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan. Jumlah batu untuk pembuatan aspal yang dikurangi kelembapannya dengan cara memanaskan temperatur batu tersebut belum mencapai besar yang diharapkan pada awal pembuatan *burner*.

Salah satu cara yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan yang ada ini adalah dengan melakukan studi terhadap *burner*, dengan melakukan analisa dari jumlah bahan bakar yang digunakan pada saat produk beroperasi, serta juga menganalisa bentuk fisik dari *burner*, yaitu bentuk *nozzle* pada *burner*. Selain itu *burner* ini juga memakai bahan bakar solar, yang cukup jarang terlihat pada *burner-burner* industri. Oleh karena itu, karakteristik api yang terjadi antara percampuran solar dan udara pada *burner* dapat dianalisa dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yaitu dengan bantuan *software* Fluent dan Gambit.

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Pada laporan tugas akhir ini, membahas tentang karakteristik suatu nyala api pada *burner* produksi PT. X dengan variasi nilai *equivalent ratio* serta variasi bukaan klep udara primer dan bukaan klep udara sekunder (*butterfly*) pada perangkat lunak *computational fluid dynamics*.

Percobaan akan difokuskan pada jenis *burner* yang sama dengan menggunakan analisa pembakarannya (*hot flow*). Variasi yang dilakukan adalah nilai *equivalent ratio* dari input bahan bakar solar dan udara pada *burner*, serta variasi bukaan *butterfly* yang ada pada *burner*.

Nantinya akan dilihat perbedaan dari variasi yang dilakukan tersebut untuk mengetahui percampuran bahan bakar dan udara yang paling efisien dan karakteristik nyala apinya paling bagus.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Meningkatkan efisiensi dari *burner* pada kiln yang berfungsi sebagai pengurang *moisture* pada batu yang akan digunakan sebagai bahan dasar aspal. Dengan melakukan variasi pada nilai *equivalent ratio* yang diambil dari *input* udara dan *input* bahan bakar serta juga melakukan variasi pada *butterfly* yaitu klep udara primer dan klep udara sekunder dari *burner*. Untuk itu, dilakukan simulasi pada berbagai keadaan dan diharapkan dapat dilihat karakteristik dari api yang terbentuk dan temperatur api rata-rata yang dinilai paling tinggi agar didapatkan nilai yang paling memuaskan untuk pemanasan batu pada kiln. Simulasi yang dilakukan terfokus pada *hot flow* atau aliran panas dari api yang dihasilkan oleh *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 *burner* di dalam kiln.
2. Mengetahui pengaruh nilai *equivalent ratio* serta bukaan *butterfly* pada temperatur di dalam kiln agar didapatkan karakteristik api yang paling sesuai.

1.5 BATASAN MASALAH

Pembatasan masalah yang dilakukan, agar penelitian ini lebih terfokus adalah :

1. Dimensi dasar dari *burner* yang ada sesuai dengan keadaan asli dengan mengubah nilai *equivalent ratio* dan bukaan *butterfly* (klep udara primer dan klep udara sekunder).
2. Reaksi yang terjadi antara campuran bahan bakar-udara diasumsikan merupakan pembakaran sempurna.
3. Variasi nilai *equivalent ratio* adalah 0,29 ; 0,385 ; 0,6 dan 1,2.
4. Besar bukaan klep atau *butterfly* adalah sebagai berikut :
 - 80⁰ udara sekunder - 20⁰ udara primer
 - 70⁰ udara sekunder - 30⁰ udara primer

- 60° udara sekunder - 50° udara primer
 - 50° udara sekunder - 60° udara primer
5. Temperatur bahan bakar solar dan udara adalah 300,15 K
 6. Bahan bakar berupa *gasoil* yang terdapat di dalam Fluent yaitu $C_{16}H_{29}$ yang diasumsikan berfraksi massa tetap.
 7. *Software* yang digunakan adalah Solidworks untuk membuat geometri *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 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 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 :

Bab ini berisi tentang teori dasar *burner* dan kiln untuk pembuatan aspal, karakteristik bahan bakar yang digunakan, teori perancangan dan pengembangan., teknik komputasi (Solidworks, Gambit dan Fluent)

BAB 3 Pemodelan, berisi :

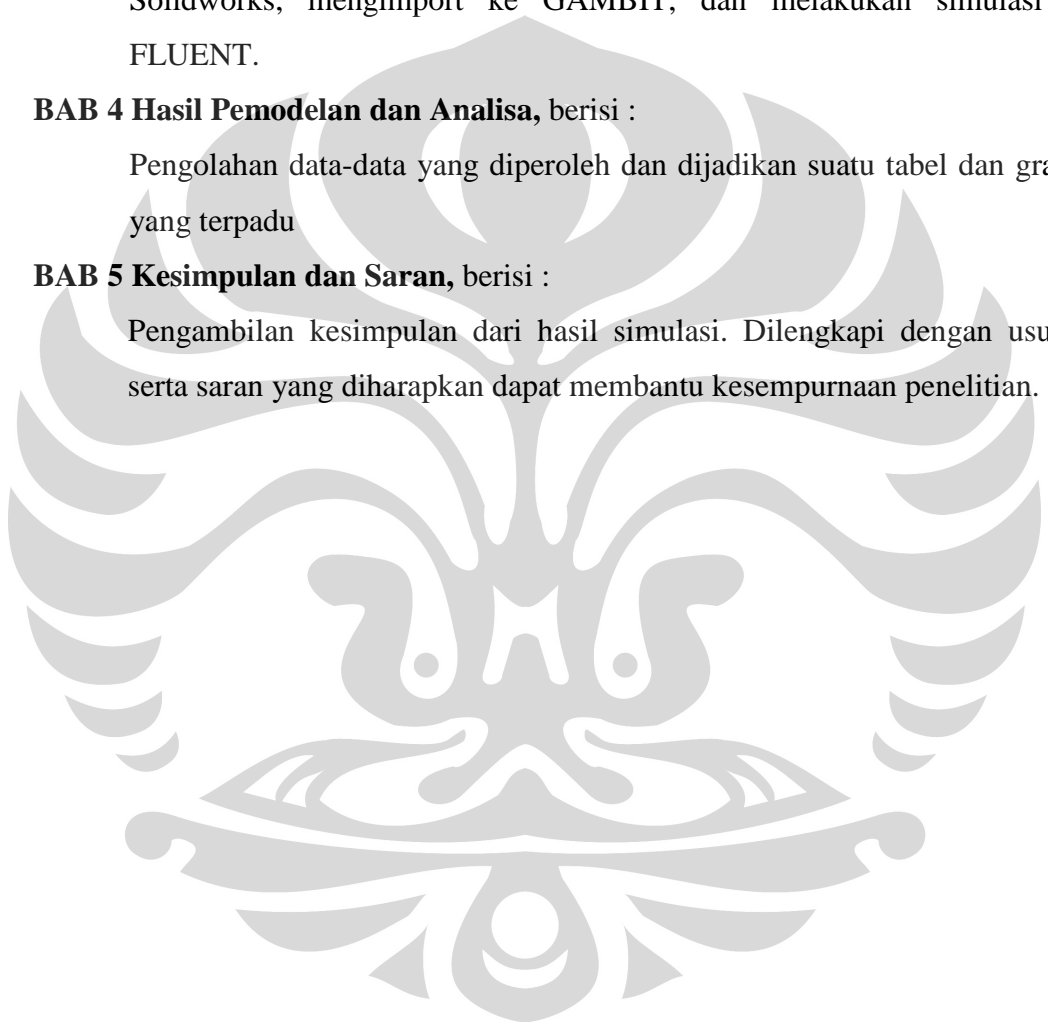
Tahapan-tahapan dalam mensimulasikan *burner* : menggambar *burner* di Solidworks, mengimport ke GAMBIT, dan melakukan simulasi di FLUENT.

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

DASAR TEORI

2.1 ASHPALT MANUFACTURING

Ashpalt adalah material untuk mengaspal yang dihasilkan dari *ashpalt cement* dan batu yang telah dihancurkan. *Ashpalt cement* adalah campuran *petroleum* yang dihasilkan dalam kilang minyak. *Ashpalt cement* dipanaskan pada *ashpalt plants* di dalam tangki, dan kemudian dicampurkan dengan bebatuan yang telah dihancurkan. *Ashpalt plants* pada umumnya merupakan alat yang digunakan untuk manufaktur aspal dan batu yang telah dilapisi yang disebut juga *tarmac*. Produksi aspal kemudian dimasukkan ke dalam truk untuk didistribusikan menuju tempat-tempat untuk pembuatan area perumahan, area parkir, jalan tol dan pelapisan semen untuk jalanan aspal.

2.1.1 Bahan Dasar Ashpat

Bahan dasar utama dari campuran *ashpalt* adalah :

1. Pasir

Kandungan air di dalam *ashpalt* umumnya cukup tinggi, karena itu dibutuhkan energi yang cukup besar untuk menghilangkan kandungan air di dalam pasir. Kandungan air di dalam pasir pada umumnya bervariasi pada setiap pasir, oleh karena perbedaan temperatur pada lingkungan. Kualitas dari pasir kering sangatlah penting karena bahan pengikat aspal langsung mengikat pada pasir tersebut. Tingkat kelembapan dari pasir haruslah diperhitungkan, begitu juga berat kering dari pasir juga harus ditentukan.



Gambar 2- 1 Bahan Pasir untuk Pembuatan Aspal

2. Bahan Pengikat (*Binder*)

Bahan pengikat tersedia dalam beberapa tingkat, disebut juga dengan *pen grades* atau *penetration grade*. Nilai dari sebuah bahan pengikat mewakili permukaan bahan pengikat tersebut pada temperatur tertentu. Semakin baik nilai bahan pengikat tersebut, semakin halus juga bahan pengikat tersebut. Nilai ini mempengaruhi keefektifan dan kekakuan dari aspal panas. Campuran dari beberapa nilai bahan pengikat dapat digunakan untuk mendapatkan karakteristik campuran yang dibutuhkan.

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

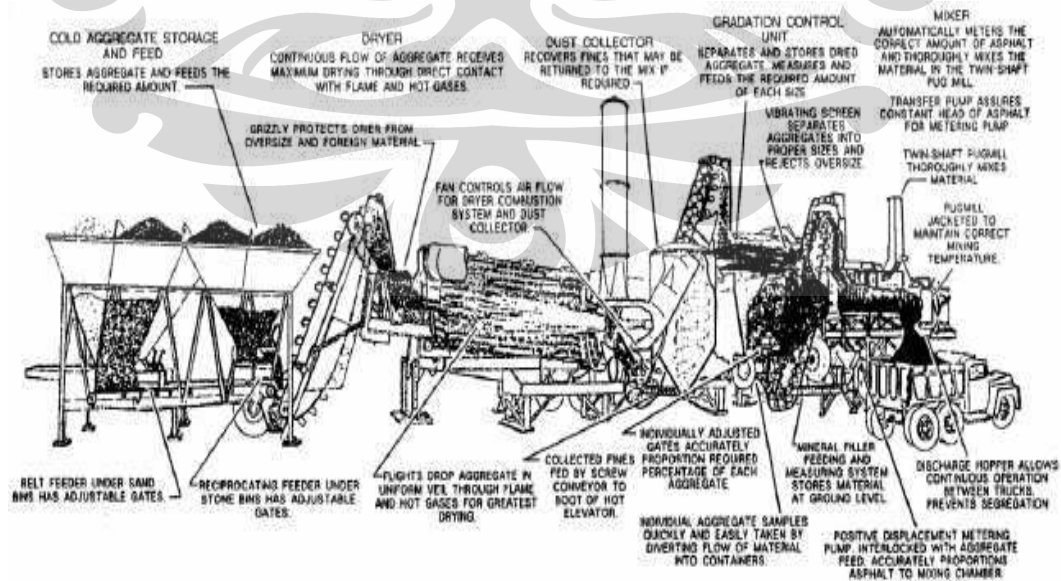
Filler menempati celah kosong di antara material dan meningkatkan *wearing potential* dari campuran. *Filler* dimasukkan pada saat kondisi campuran kering, ketika dimasukkan *binder* atau setelah *binder* dimasukkan.

2.1.2 Macam *Hot Asphalt Mixing Plant*

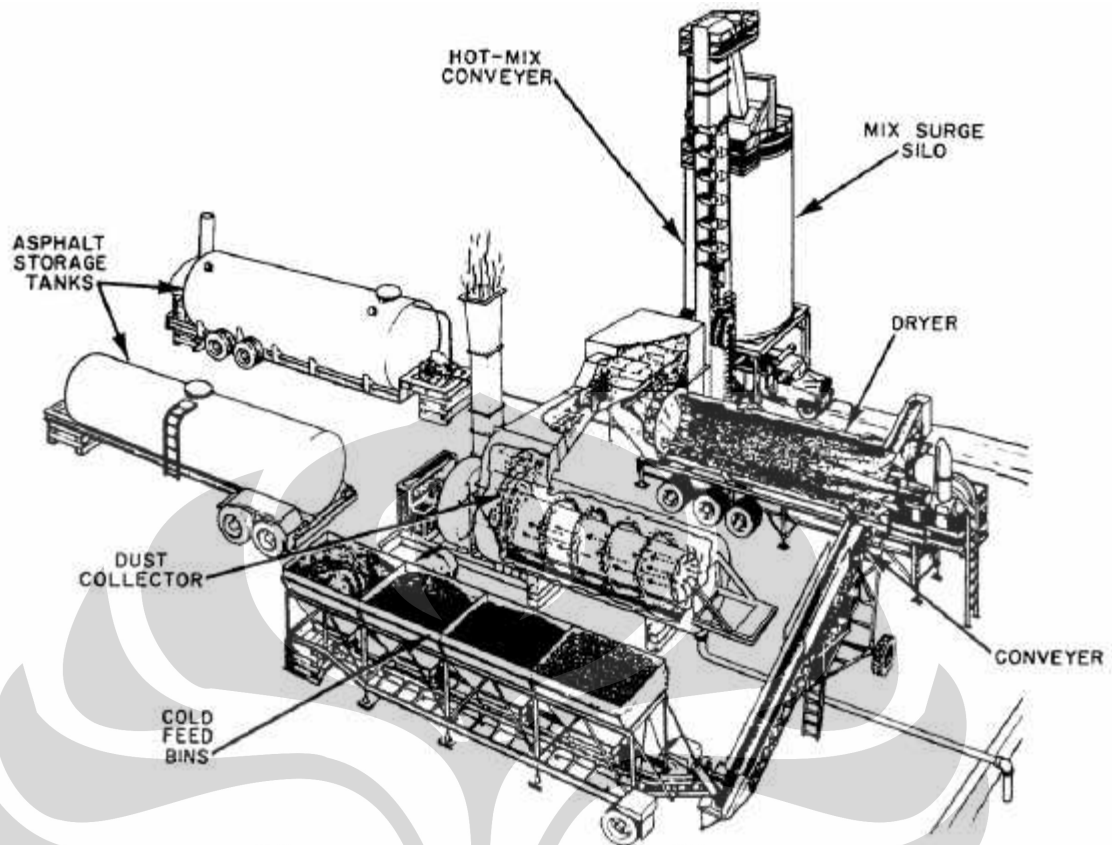
Ada dua macam industri yang masuk ke dalam kategori *asphalt manufacture* yaitu : *hot mix asphalt plants* dan *asphalt roofing*. *Hot mix asphalt plants* memproduksi material-material yang digunakan untuk menghasilkan *asphalt*, sedangkan *asphalt roofing* adalah industri yang menghasilkan aspal itu sendiri dan hasil produksi lain yang dihasilkan dari material pembuat aspal. *Hot*

mix asphalt plants merupakan industri yang menghasilkan material pembuat aspal dengan cara mencampur dan memanaskan material dasar aspal.

Hot mix asphalt plant dapat dibuat dengan cara *batch*, kontinu, *parallel flow drum mix*, ataupun *counterflow drum mix plants*. Di dalam *batch mix plant*, material dasar dimasukkan ke dalam kiln (*rotary dryer*) dan kemudian dikeringkan dengan menggunakan *burner*, kemudian batu hasil pengeringan tersebut disortir ke dalam ukuran dan berat tertentu dan kemudian dimasukkan ke dalam *mixer* lalu dicampurkan dengan aspal cair. Dalam *parallel flow drum mix plants*, material dasar dimasukkan ke dalam *drum* pengering pada ujung *burner*. Ketika *drum* berputar, material dasar berupa batu dan hasil pembakaran bergerak menuju ujung *drum* yang lain. Aspal cair dimasukkan di pertengahan *drum*, yang berarti di dalam *parallel flow drum mix plants* percampuran dan pemanasan dilakukan di dalam tempat yang sama. Dalam *counterflow drum mix plants*, material dasar bergerak berlawanan arah dengan gas buang hasil pembakaran, dan aspal cair dicampurkan pada material setelah dikeringkan oleh *burner* untuk menghindari kontak langsung antara aspal cair dengan gas buang hasil pembakaran. Setelah dicampurkan, hasil dari *hot mix plants* dipindahkan menuju gudang-gudang penyimpanan, atau dimasukkan ke dalam truk untuk dikirim ke tempat aspal akan dipakai.



Gambar 2- 2 Continuous Flow Asphalt Plants



Gambar 2- 3 *Drum Mix Ashpalt Plants*

Kurang lebih 85% dari *hot mix asphalt plant* menggunakan metode *counterflow drum mix*, 10% menggunakan *batch mix*, dan 5% menggunakan *parallel flow drum mix*. Sedangkan *continuous mix plants* sangat jarang diterapkan, hanya sekitar 0,5% dari *hot mix asphalt plants* yang ada saat ini.

2.2 EQUIVALENT RATIO

2.2.1 Pengertian Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi yang terjadi secara cepat yang menghasilkan panas dan ataupun cahaya dan panas. Dapat juga diartikan sebagai reaksi kimia antara bahan bakar (fuel) dan oksida yang berhubungan dengan pelepasan energi sebagai panas. Bahan bakar adalah zat yang melepaskan energi ketika dioksidasi (contoh : metana- CH_4 , oktana- C_8H_{18}). Oksida adalah oksigen yang mengandung zat yang dapat bereaksi dengan bahan bakar. Reaksi yang terjadi biasanya hanya sebagian kecil dari volume yang tersedia pada *reaction*

zone atau disebut juga *flame* (api). Reaksi yang terjadi juga dihasilkan pada tingkatan partikel yang menghasilkan bercahaya dan inilah yang menyebabkan warna dari api.

Flame juga melibatkan pergerakan fluida, difusi dari kalor dan massa, pelepasan kalor, dan ilmu kimia. Oleh sebab itu, ilmu pembakaran didasarkan pada termodinamika, *chemical kinetics*, perpindahan kalor dan massa, serta mekanika fluida.

Di dalam pembakaran, kita bekerja dengan konsentrasi, fraksi mol, atau fraksi massa. Kita berhadapan dengan percampuran *species* dan kita ingin dapat menghitung berbagai macam properti rata-rata, untuk mendapatkan karakter dari percampuran bahan bakar- udara.

2.2.2 Equivalence ratio

Equivalence ratio dari percampuran bahan bakar-udara dirumuskan sebagai berikut :

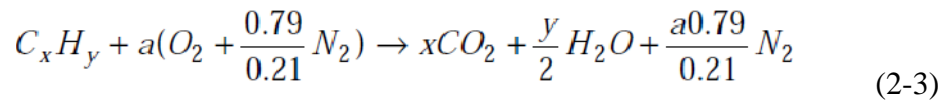
$$\phi = \frac{(m_{fuel} / m_{air})}{(m_{fuel} / m_{air})_{st}} = \frac{(V_{fuel} / V_{air})}{(V_{fuel} / V_{air})_{st}} \quad (2-1)$$

Dengan (m) sebagai massa, (V) sebagai volume dari bahan bakar dan udara yang ada. St di dalam rumus menunjukkan bahwa ini merupakan kondisi stoikiometrik. *Equivalence ratio* berhubungan dengan *Air Fuel Ratio (AFR)* sebagai berikut :

$$AFR = \frac{1}{\phi} AFR_{st} \quad (2-2)$$

2.2.3 Perhitungan AFR Stoikiometrik

Nilai stoikiometrik dari oksida harus sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan untuk membakar bahan bakar agar terjadi pembakaran. *Air Fuel Ratio Stoichiometric* dihitung dengan cara menyeimbangkan C,H dan O di dalam reaksi pembakaran. Pembakaran sempurna dari hidrokarbon dengan udara atmosfer adalah sebagai berikut :



Setiap mol dari udara atmosfer memiliki 0,79 kmol N₂ dan 0,21 kmol of O₂. Keseimbangan atom C, H dan N telah diperlihatkan pada rumus reaksi di atas. Dengan menghitung atom O, dapat dilihat bahwa :

$$a = x + y/4 \quad (2-4)$$

$$AFR_{st} = \frac{a(MW_{O_2} + 0.79/0.21MW_{N_2})}{MW_{fuel}} \quad (2-5)$$

$$AFR_{st,vol} = \frac{a(1 + 0.79/0.21)}{1} \quad (2-6)$$

Sebagai contoh, untuk CH₄, x=1 dan y=4, maka a=2, dan AFR_{st,vol} adalah 9.524, sedangkan AFR_{st massa} adalah 17,167. Jika tidak ada ketentuan pasti harus memakai massa atau volume, maka pada umumnya yang dipakai adalah *mass ratio*. Pengerjaan yang sama dapat digunakan untuk mendapatkan rasio stoikiometrik dari bahan bakar terhadap udara.

2.3 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

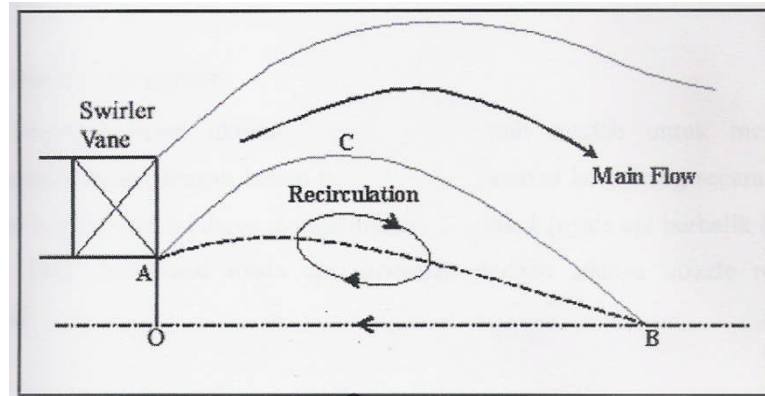
2. Kombinasi dari elemen mampu bakar dan campuran bahan bakar dengan keseluruhan udara pembakaran membutuhkan temperatur yang cukup untuk dapat dilakukan mengignisiasi/mematik unsur pokok reaktan agar dapat timbul nyala api
3. Turbulensi untuk menimbulkan kontak yang sempurna antara udara dengan bahan bakar guna menyempurnakan percampuran udara-bahan bakar sehingga dapat tercapai pembakaran yang lebih baik.

2.4 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 pemansan 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 percampuran bahan-bakar dan udara dan memperpanjang waktu tinggal (residence time)

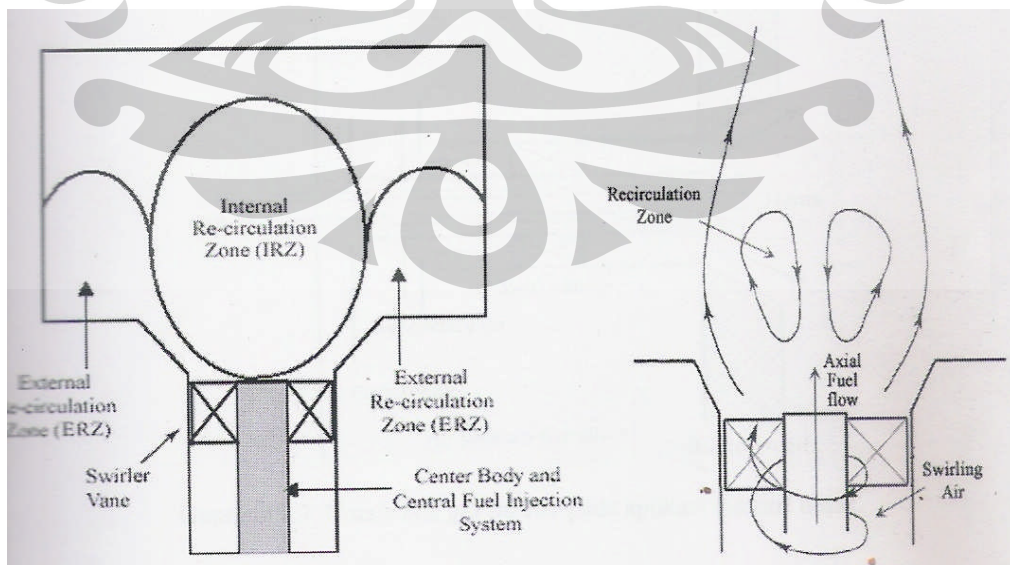
M N M Jaafar mengemukakan bahwa *swirl* ditimbulkan dari pengaplikasian sebuah pergerakan spiral pada sebuah aliran. Pergerakan spiral ini diperoleh dengan menambahkan aliran tangensial kepada aliran axial. Aplikasi *swirl* tersebut membangkitkan zona resirkulasi internal



Gambar 2- 4 Zona Resirkulasi pada Pusaran

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

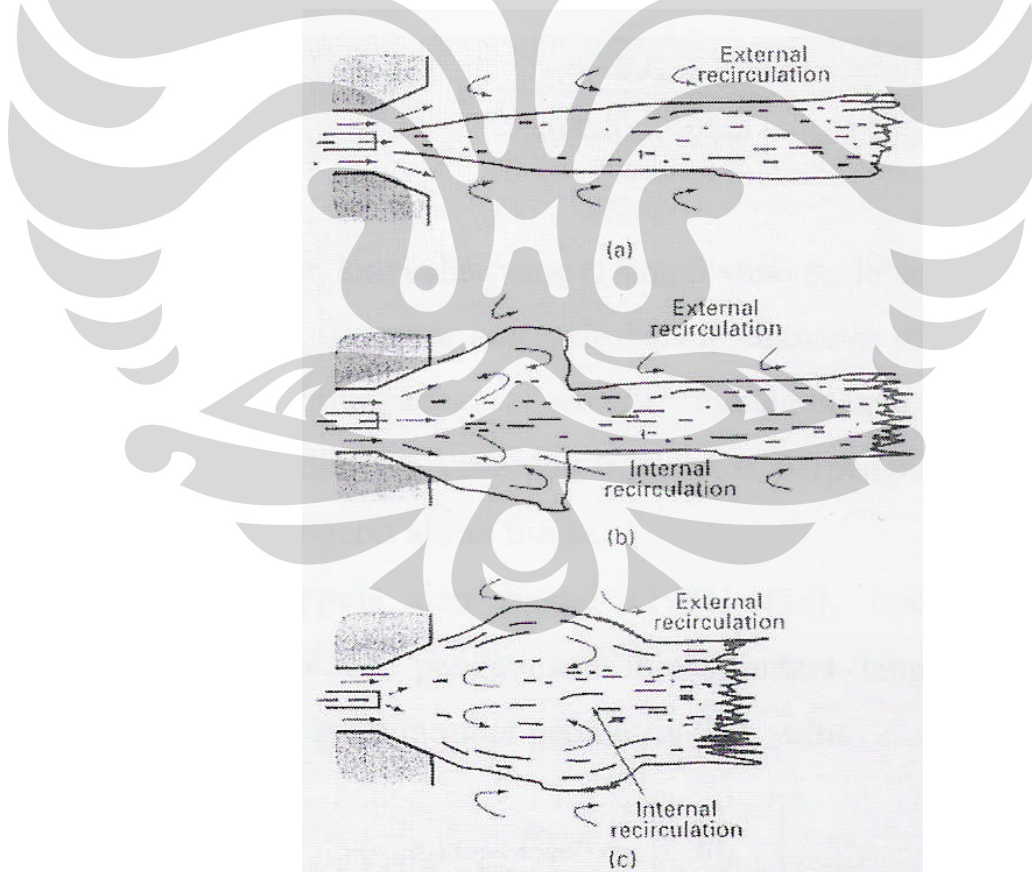
Fungsi dari *swirl* adalah untuk menciptakan zona resirkulasi internal (IRZ). Sedangkan zona resirkulasi eksternal (ERZ) timbul akibat ekspansi geometris dari aliran udara pembakaran. Pada pembakaran non-premixed IRZ berfungsi dalam menyempurnakan pencampuran udara dengan bahan bakar agar pembakaran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



Gambar 2- 5 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*.

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- 6 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 :

$$S = \frac{\sigma R}{2w_V} \left[1 - \left(\frac{R_h}{R} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2-7)$$

Dengan:

$$\sigma = \frac{\tan \alpha}{(1-\psi) \left[1 - \tan \alpha \tan \left(\frac{\pi}{z} \right) \right]} \dots \dots \dots (2-8)$$

$$\psi = \frac{z \cdot t_V}{2\pi R_{av} \cdot \cos \alpha} \dots \dots \dots (2-9)$$

$$R_{av} = R + \frac{1}{2} w_V = \frac{1}{2} (d + w_V) \dots \dots \dots (2-10)$$

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)

$$S_g = \frac{R_q \pi r_t}{A_t} \left[\frac{\dot{m}_t}{\dot{m}_{total}} \right]^2 \dots\dots\dots(2-11)$$

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

$$S_g = \frac{R_q}{r_t} \left[\frac{\dot{m}_t}{\dot{m}_{total}} \right]^2 \dots\dots\dots(2-12)$$

dengan

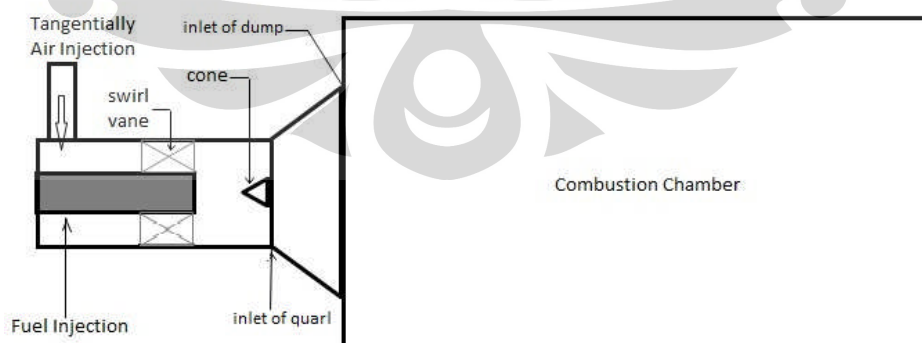
R_q = radius inlet quarl

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- 7 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 $S \geq 0,6$ 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 meliti 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 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.

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

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 *burner* dan kiln. Sedangkan Gambit digunakan untuk melakukan *meshing* dan juga memberikan identitas pada setiap *face* yang terdapat pada *burner* dan kiln. Selain itu, Gambit juga digunakan untuk melakukan *meshing*. Fluent digunakan untuk melakukan perhitungan mengenai apa yang terjadi pada *burner*.

Simulasi dilakukan menggunakan software Fluent. Model penyelesaian yang di gunakan adalah

- Tunak (*steady state*)
- perpindahan panas
- Turbulensi k- epsilon RNG
- Perpindahan Senyawa (*species transport*) atau Pembakaran gas
- Reaksi dihitung menggunakan model eddy disipasi

Persamaan – persamaan yang digunakan pada model penyelesaian adalah persamaan konservasi massa, konservasi momentum, konservasi energi, Turbulensi

RNG K-e dan Perpindahan senyawa (*species transport*) masing –masing persamaan (2-13),(2-14),(2-15),(2-16) dan (2-17) dibawah ini.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2-13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2-14)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = -\nabla \cdot \left(\sum_j h_j J_j \right) + S_h \quad (2-15)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (2-16)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2-17)$$

Dimana v vektor kecepatan (m/s), ρ mass jenis gas (kg/m³), S_m adalah Sorce Term akibat penambahan masa ke fasa yang kontinu dari *dispersed* pasa ke dua, P tekanan statik (Pa), $\vec{\tau}$ merupakan tensor tegangan (Pa), $\rho \vec{g}$ gaya

grafitasi bodi (N), \vec{F} gaya eksternal bodi (N), E entalpi (J/kg), h enthalpi senyawa (J/kg), J_i laju aliran massa difusitas senyawa i ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^2$), S_h source term akibat panas reaksi, k turbulence kinetik energi (m^2/s^2), u kecepatan (m/s), μ_{eff} viskositas dinamik efektif (kg/ms), G_k pembangkit turbulen kinetik energi akibat gradien kecepatan tengah, G_b pembangkit turbulen kinetik akibat *buoyancy*, ε laju turbulen disipasi (m^2/s^3), Y_m pengaruh fluktuasi dilatasi turbulen kompresible terhadap laju disipasi, S_k source term yang di tentukan pengguna, Y_i fraksi massa masing- masing senyawa, R_i adalah laju produksi bersih senyawa i oleh reaksi kimia ($\text{kg}/\text{m}^3\text{s}^2$), S_i adalah source term akibat penambahan dari fase tertentu

Dengan mengasumsikan kondisi tunak maka komponen perubahan menurut waktu ($\partial/\partial t$) pada persamaan diatas dihilangkan.

Setelah melakukan pemodelan proses untuk simulasi maka selanjutnya dilakukan penentuan kondisi batas simulasi yaitu :

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 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 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. Persamaannya ada pada persamaan (2-17) di atas.

BAB 3 PEMODELAN

3.1 PEMODELAN

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

1. Pembentukan model 3D dari *Burner* 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 variasi nilai *equivalent ratio* dan bukaan klep udara primer dan klep udara sekunder terhadap distribusi temperatur di dalam kiln. 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. Fraksi massa dari bahan bakar yang dipakai di dalam permodelan yaitu solar atau gasoil ($C_{16}H_{29}$) adalah 1.
2. Reaksi pembakaran yang terjadi adalah reaksi pembakaran sempurna.
3. Kecepatan injeksi udara tetap sebesar 98 m/s
4. Temperatur solar dan temperatur udara adalah sebesar $27^{\circ}C$ 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 disain *burner*.

3.2 PERHITUNGAN *EQUIVALENT RATIO*

Pada laporan akhir ini dilakukan variasi nilai *equivalent ratio*, yang akan digunakan sebagai acuan untuk membandingkan nilai distribusi temperatur pada keadaan aktual dengan keadaan yang terbaik yang diindikasikan dengan besarnya temperatur di dalam kiln. Untuk mendapatkan variasi nilai *equivalent ratio* maka dibutuhkan perhitungan AFR (*Air Fuel Ratio*) yang didapatkan dari reaksi standar pembakaran solar ($C_{16}H_{29}$) dengan udara.

Reaksi pembakaran stoikiometrik dari $C_{16}H_{29}$ dan udara adalah sebagai berikut :



Maka akan didapatkan nilai *air fuel ratio* stoikiometrik dari reaksi tersebut :

Air Fuel Ratio Stoichiometric :

$$\begin{aligned} AFR_S &= \frac{(28,9 \text{ kg/kmol})(23,25(1 + 3,76))}{\left(221 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}\right)(1 \text{ kmol})} \\ &= \mathbf{14,47 \text{ kg udara / kg bahan bakar}} \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang didapatkan dari keadaan *burner* asli, diketahui bahwa :

$$V_{\text{udara}} = 98 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{bahan bakar}} = 4,04 \text{ m/s}$$

$$A_{\text{udara}} = 0,32141265 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bahan bakar}} = 0,00020358 \text{ m}^2$$

Untuk $V_{\text{udara}} = 98 \text{ m/s}$, didapatkan *flowrate* ; $Q_{\text{udara}} = V_{\text{udara}} \times A_{\text{udara}}$

$$= 113392,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maka dari rumus : $\dot{m}_{\text{udara}} = Q_{\text{udara}} \times \rho_{\text{udara}}$

Didapatkan nilai *mass flow rate* :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{udara}} & \text{ dengan } \rho_{\text{udara}} = 1,1 \text{ kg/m}^3 \\ \dot{m}_{\text{udara}} & = 113392,8 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,1 \text{ kg/m}^3 \\ & = \mathbf{124732,08 \text{ kg/h}}\end{aligned}$$

Dan untuk $V_{\text{bahan bakar}} = 4,04 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan flowrate; } Q_{\text{bahan bakar}} & = V_{\text{bahan bakar}} \times A_{\text{bahan bakar}} \\ & = 2,96 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

$$\text{Maka dari rumus : } \dot{m}_{\text{bahan bakar}} = Q_{\text{bahan bakar}} \times \rho_{\text{bahan bakar}}$$

Didapatkan nilai *mass flow rate* :

$\dot{m}_{\text{bahan bakar}}$ dengan $\rho_{\text{bahan bakar}} = 738 \text{ kg/m}^3$ (dapat berubah berdasarkan temperatur)

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{bahan bakar}} & = 2,96 \text{ m}^3/\text{h} \times 850 \text{ kg/m}^3 \\ & = \mathbf{2516 \text{ kg/h}}\end{aligned}$$

Akan didapatkan nilai *air fuel ratio* aktual sebagai berikut :

Air Fuel Ratio Aktual :

$$\begin{aligned}\text{AFR}_{\text{aktual}} & = \dot{m}_{\text{udara}} / \dot{m}_{\text{bahan bakar}} \\ & = 124732,08 / 2516 \\ & = \mathbf{49,6 \text{ kg udara / kg bahan bakar}}\end{aligned}$$

Kemudian nilai dari *Equivalent Ratio* :

$$\begin{aligned}\phi & = \text{AFR}_S / \text{AFR}_{\text{aktual}} \\ & = 14,47 / 49,6 \\ & = \mathbf{0,29}\end{aligned}$$

Jadi diketahui bahwa *equivalent ratio* pada keadaan aktual adalah sebesar 0,29. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran yang terjadi adalah campuran yang sangat miskin bahan bakar, ini berarti *excess air* yang terjadi adalah sebesar 345%.

Pada keadaan burner pada umumnya, profil temperatur ideal yang terjadi di dalam drum adalah sebesar 150⁰C pada awalnya dan kemudian pada posisi terjadinya pembakaran, temperatur akan naik sampai 1400⁰C pada awal pembakaran. Udara atau *excess air* yang masuk ke dalam ruang bakar adalah sebesar 25% sampai dengan 300% dan ini merupakan hal yang sengaja dilakukan pada *burner* kiln untuk membuat udara mengalir di dalam drum karena adanya penurunan tekanan di dalam ruang bakar. Setelah *excess air* masuk ke dalam ruang bakar, *excess air* ini dicampurkan dengan produk pembakaran yang aliran udaranya berbentuk *turbulence* yang diakibatkan adanya *swirl*. Variasi dari jumlah *excess air* menyebabkan temperatur keluaran di dalam ruang bakar menjadi dapat diatur.

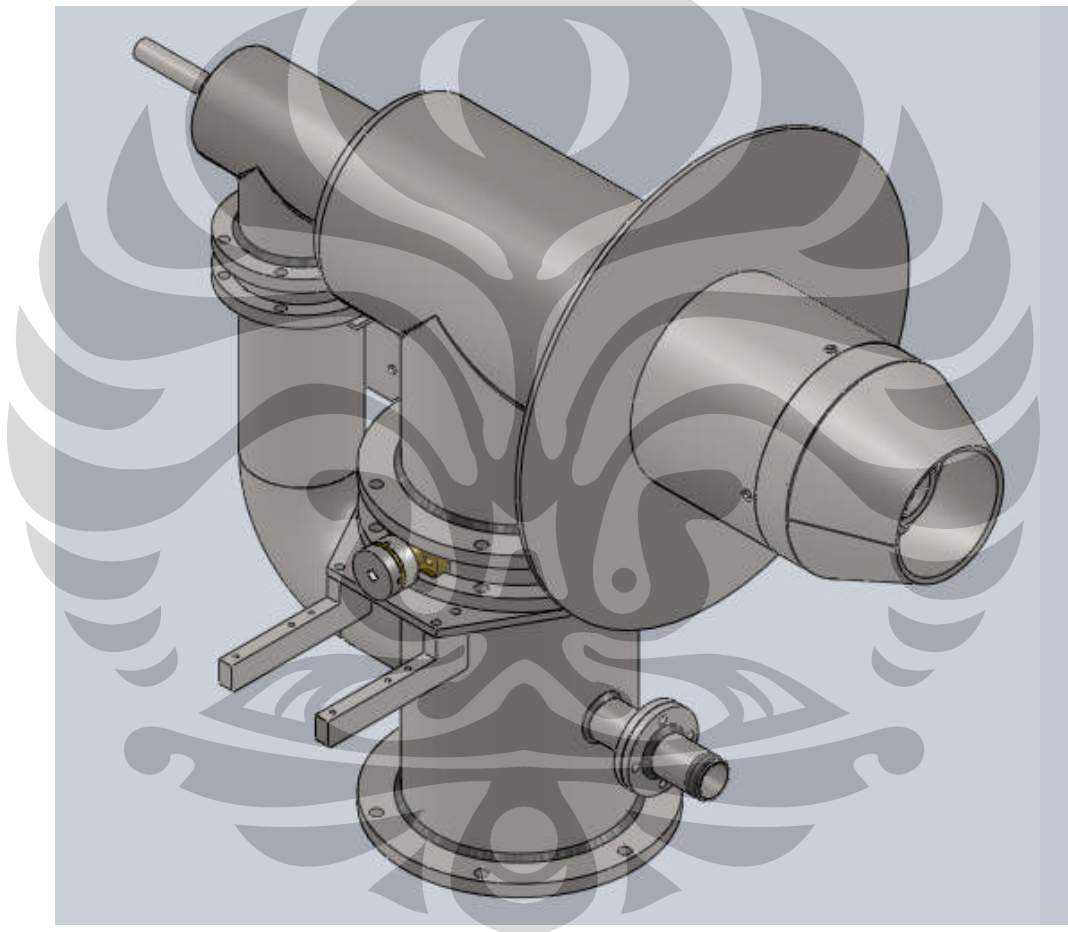
Ada dua jenis konstruksi kiln, yaitu *non-slagging* kiln dan *slagging* kiln. Pada *non-slagging* kiln, keluaran yang dibakar atau ampas yang dihasilkan masih berbentuk abu biasa, sedangkan pada *slagging* kiln ampas yang dihasilkan dibuat menjadi berbentuk cair atau *molten slag*. Drum atau kiln yang dipakai pada simulasi ini merupakan jenis *slagging kiln*, yang merupakan jenis kiln yang ujung keluaran kiln-nya lebih rendah dibandingkan dengan masukkan kiln. Hal ini dilakukan untuk mengumpulkan *slag* ataupun hasil dari pembakaran material yang merupakan ampas dari pembakaran. Temperatur yang dibutuhkan pada *slagging kiln* lebih besar dibandingkan dengan kiln biasa, untuk mempertahankan kondisi abu sebagai hasil buang pada ruang bakar di dalam bentuk cair. Temperatur pada *slagging kiln* haruslah lebih tinggi dibandingkan dengan *non-slagging* kiln, yaitu sekitar 1430 – 1540⁰C, sedangkan pada *non-slagging* kiln, temperaturnya adalah sekitar 760⁰C.

Untuk mendapatkan nilai dari distribusi temperatur yang paling tinggi dan merata, maka dilakukan beberapa variasi nilai *equivalent ratio*. Nilai *equivalent ratio* yang digunakan pada variasi ini adalah 0,29 yaitu nilai *equivalent ratio* yang

aktual sebagai pembanding, kemudian 0,385 , 0,6 dan 1,2. Variasi nilai *equivalent ratio* ini akan menjadi pembanding di dalam laporan akhir ini untuk mendapatkan distribusi temperatur yang paling baik di dalam kiln.

3.3 DESAIN *BURNER*

Burner yang dimaksud adalah *burner* produksi PT. X yang digunakan sebagai *burner* pada kiln. Dimensi dari *burner* dan disainnya didapatkan langsung dari pihak PT. X sehingga dapat dilakukan simulasinya.



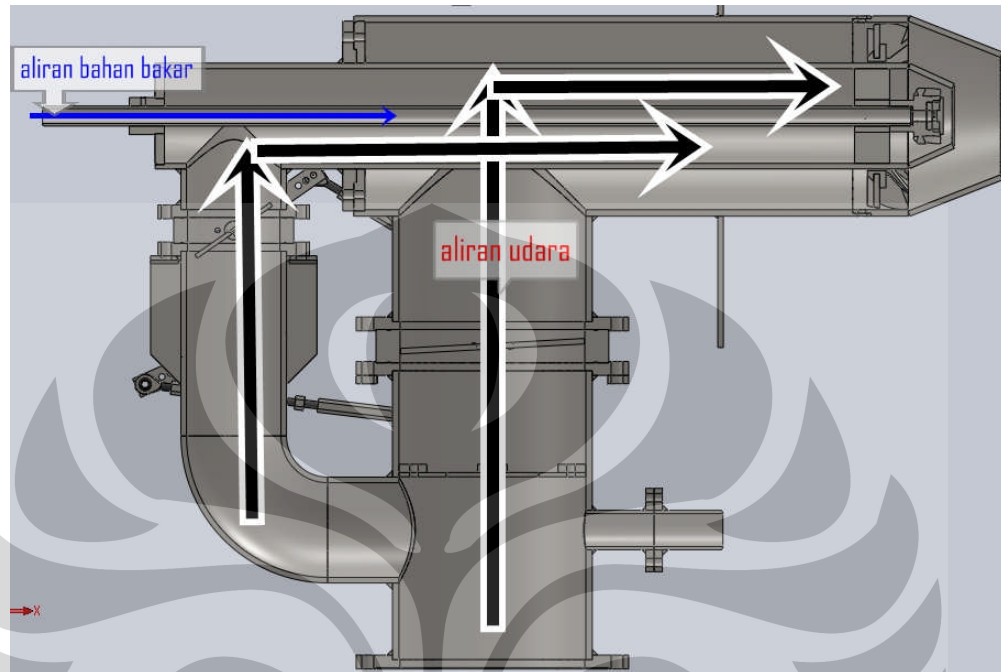
Gambar 3- 1 Geometri *Burner*

Pada tugas akhir ini, disain dilakukan dengan menggunakan *software* Solidworks 2010. Beberapa *part* yang menentukan dari disain ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Inlet udara dan Inlet Bahan Bakar

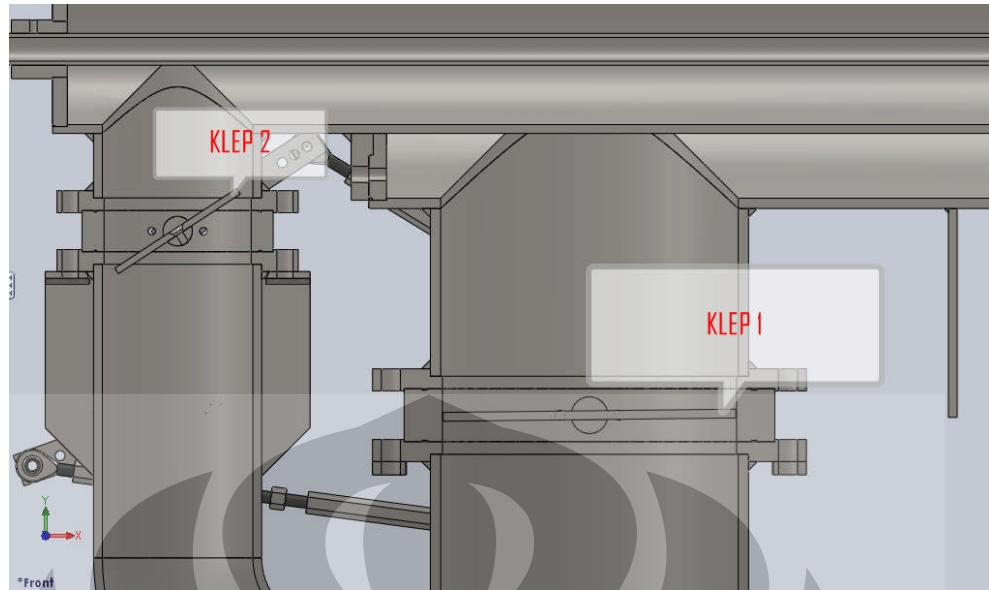
Inlet udara terdiri dari pipa yang bercabang dengan sumber udara dari satu buah *blower*, aliran udara masuk melalui pipa yang besar yang bekerja sebagai

aliran udara sekunder. Pipa yang kecil merupakan pipa aliran udara primer yang nantinya bertemu langsung dengan bahan bakar. Diameter pipa udara primer sebesar 114,3 mm dan diameter pipa udara sekunder adalah 216,3 mm.

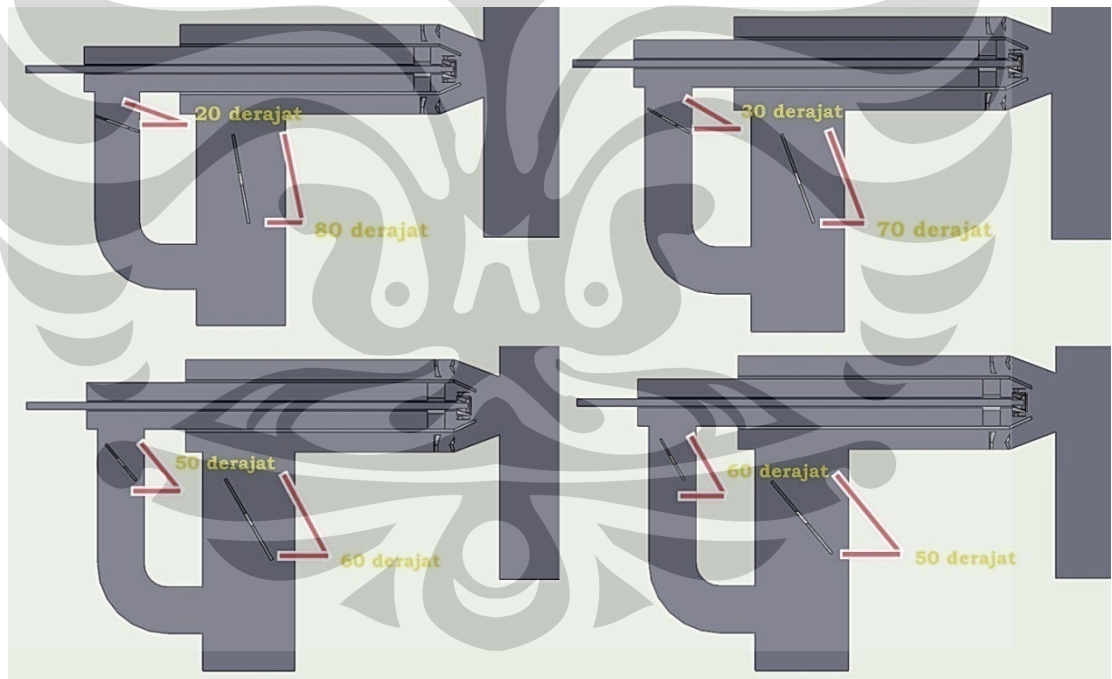


Gambar 3- 2 Arah Aliran Udara dan Bahan Bakar pada *Burner*

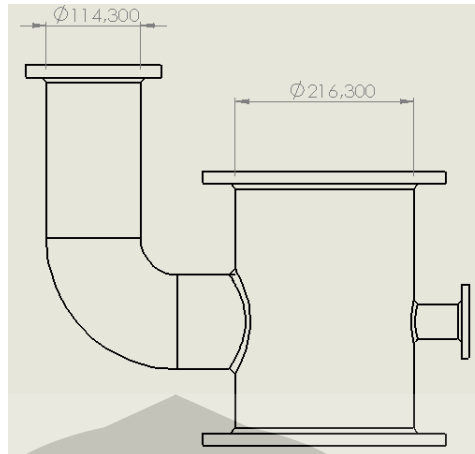
Kedua buah pipa ini dibatasi oleh masing-masing satu klep, yang berguna untuk menahan aliran udara untuk menciptakan variasi kecepatan udara di dalam *burner*. Di dalam laporan ini, klep inilah yang divariasikan untuk mengetahui pengaruh dari masuknya udara melalui saluran udara primer dan saluran udara sekunder dengan bukaan klep yang berubah-ubah untuk mendapatkan perubahan besar distribusi temperatur yang terjadi.



Gambar 3- 3 Letak Klep Dalam Burner



Gambar 3- 4 Variasi Buka Klep (*Butterfly*)



Gambar 3- 5 Dimensi Inlet Udara Primer Dan Sekunder

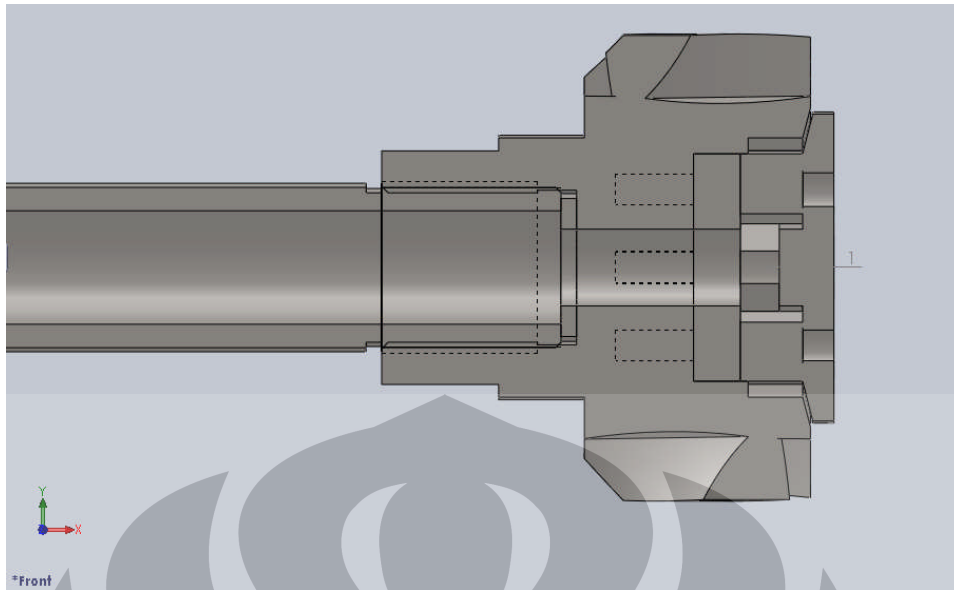
Inlet bahan bakar merupakan tempat masuknya bahan bakar dari pompa yang berada di ujung *burner*. Diameter dari inlet bahan bakar adalah 16,10 mm dengan panjang total 940 mm. Pada akhir dari inlet bahan bakar ini merupakan *atomizer* yang berfungsi sebagai jalur keluarnya bahan bakar untuk bertemu dengan aliran udara.



Gambar 3- 6 Disain Inlet Bahan Bakar

3.3.2 Atomizer

Atomizer merupakan aliran keluaran bahan bakar yang berguna untuk mengeluarkan bahan bakar untuk bertemu dengan udara, dan berguna juga untuk membuat bahan bakar yang keluar memiliki bentuk dan kecepatan yang seragam.

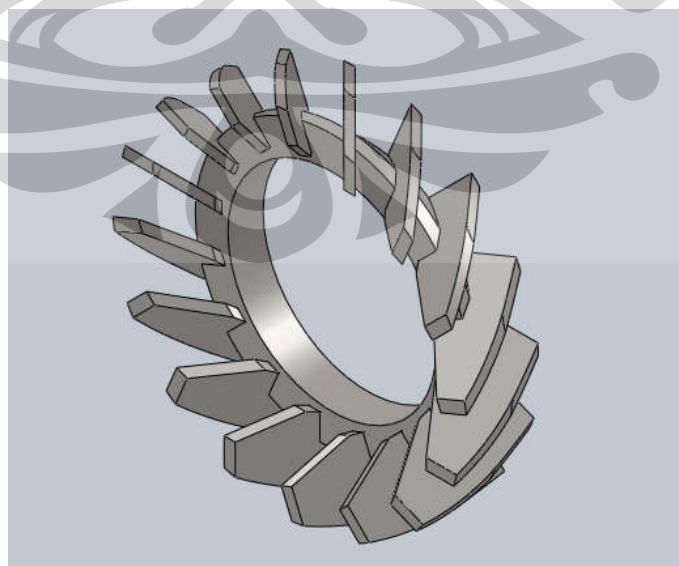


Gambar 3- 7 Geometri Atomizer

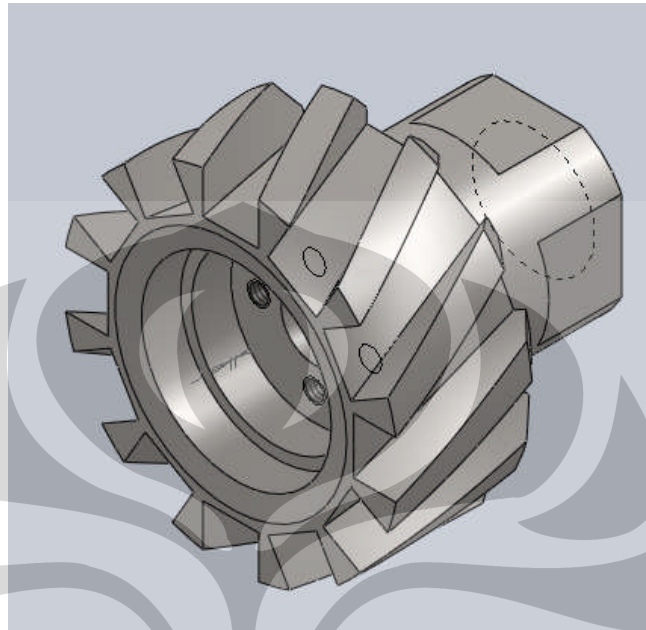
3.3.3 Swirl Vane

Merupakan bagian yang berfungsi untuk menciptakan turbulensi dan membentuk aliran percampuran serta bentuk pembakaran yang baik.

Pada *burner* ini terdapat dua buah *swirl vane*, yaitu pada pipa aliran udara primer dan pipa aliran udara sekunder. *Swirl* pada pipa udara sekunder memiliki 16 *swirl* dengan sudut kemiringan dari masing-masing *blade*-nya adalah sebesar 22,5 derajat. Geometri dari *swirl* pipa sekunder ada pada gambar berikut :

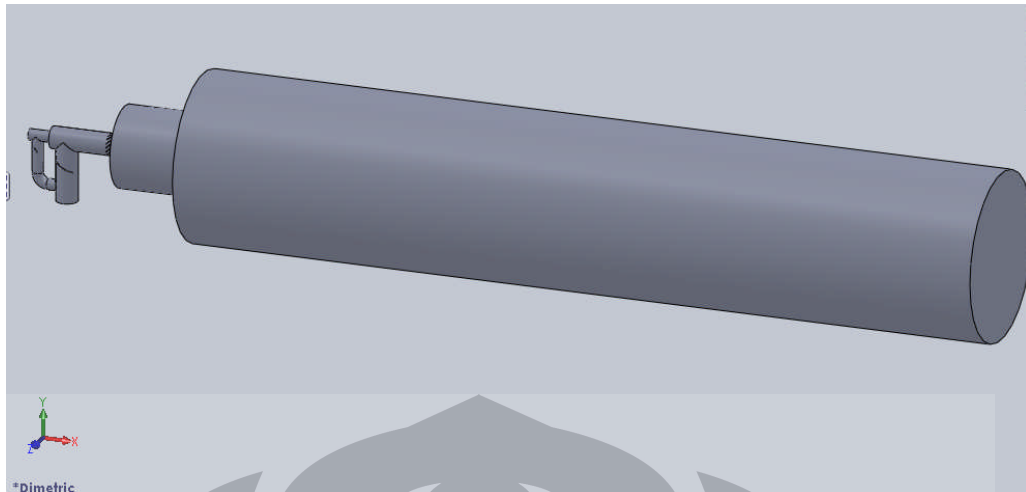
Gambar 3- 8 Geometri *Swirl* pada Pipa Udara Sekunder

Sedangkan pada pipa primer juga terdapat *swirl* yang lebih kecil, dengan jumlah *blade* sejumlah 12 dengan sudut kemiringan masing-masing *blade* sebesar 30 derajat.



Gambar 3- 9 Geometri *Swirl* pada Pipa Primer

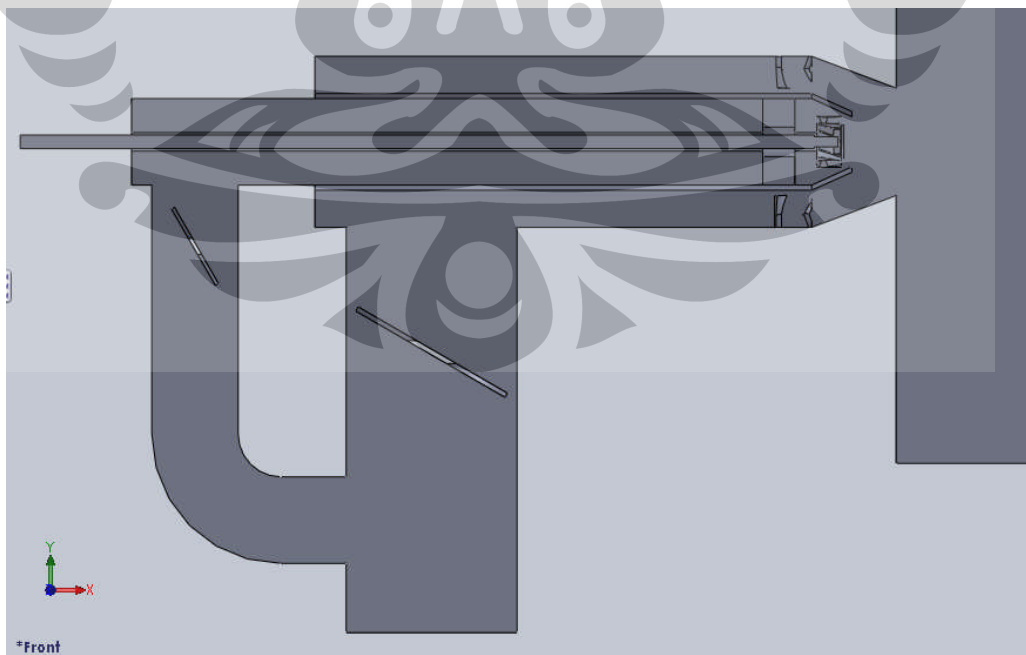
Untuk dapat dilakukan meshing pada Gambit, bentuk *burner* yang dibentuk harus ditukar antara ruang kosong dengan bagian yang *solid*. Oleh karena hal tersebut, maka dibentuklah gambar solidworks di atas dengan melakukan penukaran antara ruang kosong dengan bagian yang *solid*. Tidak hanya *burner* yang dimasukkan, kiln dengan dimensi aslinya juga dimasukkan agar bentuk api dan distribusi temperatur di dalam kiln dapat terlihat. Dimensi dari kiln itu sendiri memiliki panjang sebesar 7600 mm dengan diameter sebesar 1570 mm. Sebelum kiln besar ini, ada juga tempat bertemunya bahan bakar dan udara pertama kali di depan *burner* dengan panjang 750 mm dan diameter 760 mm. Setelah itu *file* kemudian disimpan dengan format *file* *.step.



Gambar 3- 10 Pemodelan Untuk Simulasi



Gambar 3- 11 Dimensi Kiln

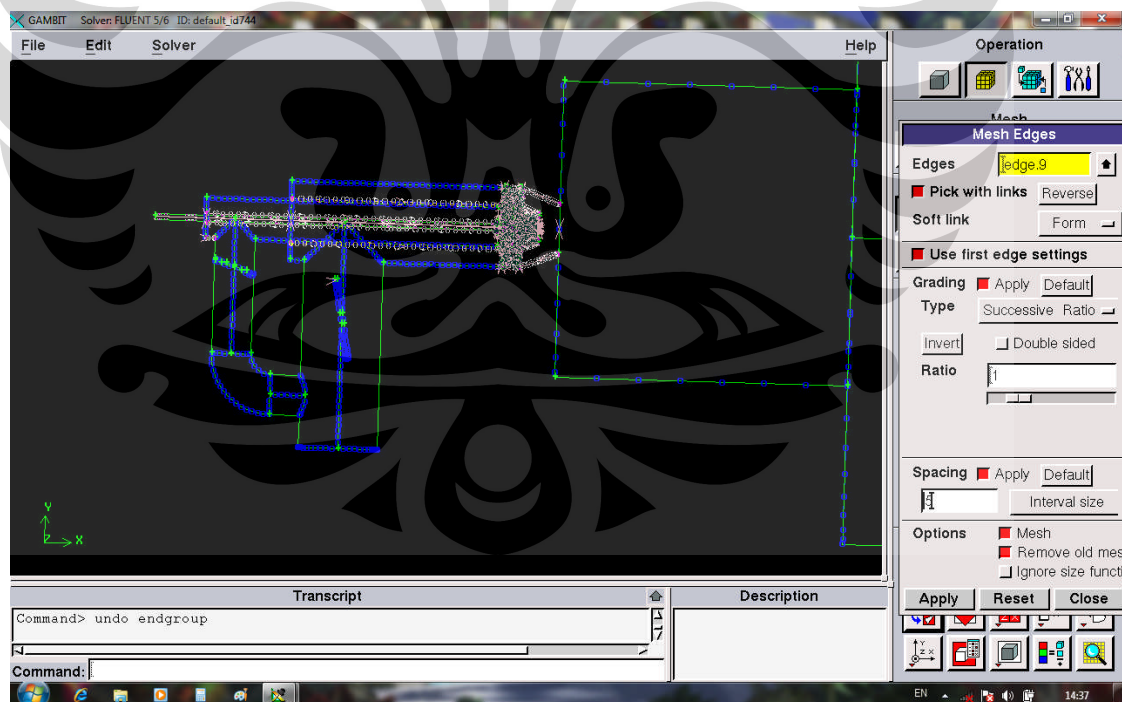
Gambar 3- 12 Geometri *Burner* Saat Ditukar Bagian Solid dan Bagian Ruang Kosong

3.4 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.

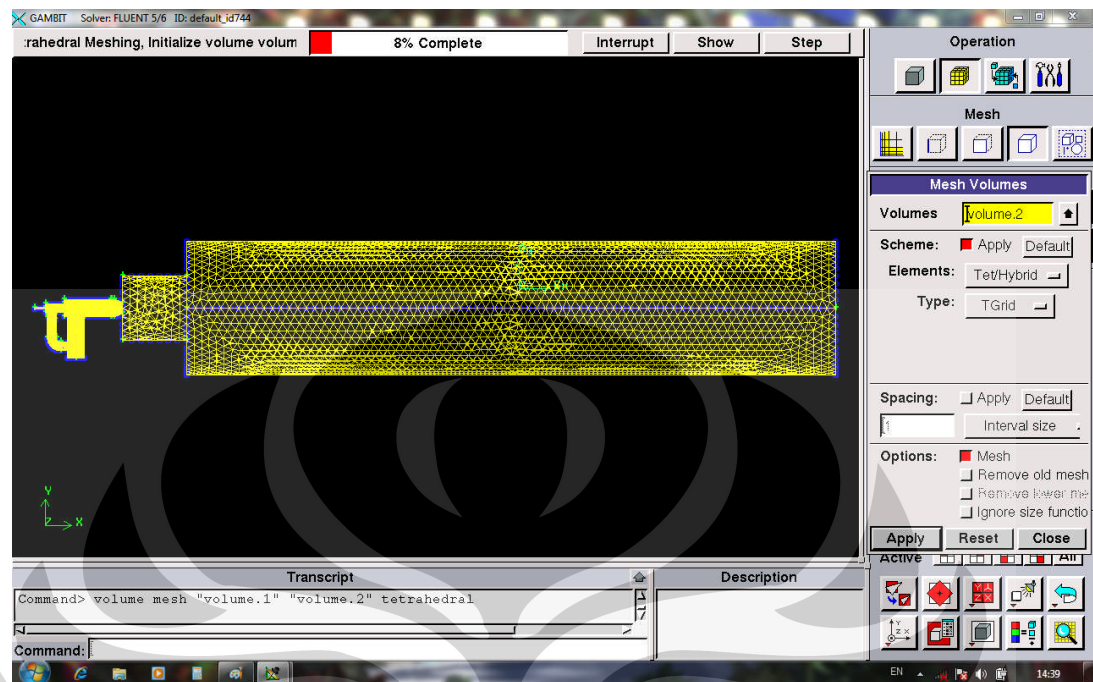
Pada proses ini, *meshing* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Meng-*import* file dari Solidworks dalam bentuk *file* *.step ke dalam Gambit.
2. Melakukan *mesh edges* pada geometri agar *interval size* dapat dibedakan pada permukaan yang berbeda-beda. Untuk *burnernya* dibuat dua *interval size*, yaitu sebesar 15 dan 5. Sedangkan untuk sisanya, yaitu kilnnya dibuat *interval size* sebesar 100.



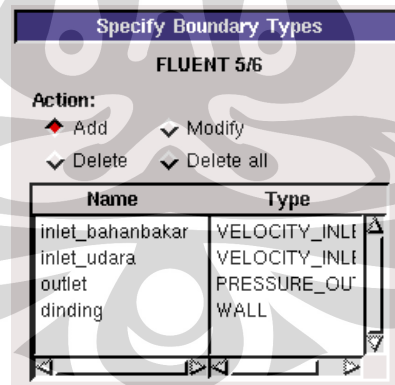
Gambar 3- 13 Melakukan Mesh Edges Dengan Interval Size yang Berbeda dan Window Mesh Edges

- Melakukan *meshing* volume dengan elemen *mesh* “*tet/hybrid*” dengan tipe *TGrid* dan *interval size* yang berbeda-beda.



Gambar 3- 14 Hasil Meshing dan Gambar Jendela untuk Mesh Volume

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



Gambar 3- 15 Penentuan 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.

3.5 LANGKAH-LANGKAH PERMODELAN

Langkah-langkah dalam permodelan menggunakan *software* fluent antara lain :

3.5.1 Grid

1. 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\JOGLO\Desktop\Iterasi Ilham\iterasi
klep8020eqr0.25\KLEP8020AFR0.25.cas"...
```

```
448540 tetrahedral cells, zone 2, binary.
```

```
92654 triangular wall faces, zone 3, binary.
```

```
454 triangular pressure-outlet faces, zone 4, binary.
```

```
18 triangular velocity-inlet faces, zone 5, binary.
```

```
332 triangular velocity-inlet faces, zone 6, binary.
```

```
850351 triangular interior faces, zone 8, binary.
```

```
98706 nodes, binary.
```

```
98706 node flags, binary.
```

2. 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): 2.950927e-010
```

```
maximum volume (m3): 5.011036e-004
```

```
total volume (m3): 1.506074e+001
```

3. Menampilkan *grid* dengan cara **Display → Grid** sehingga akan muncul tampilan seperti di bawah ini.

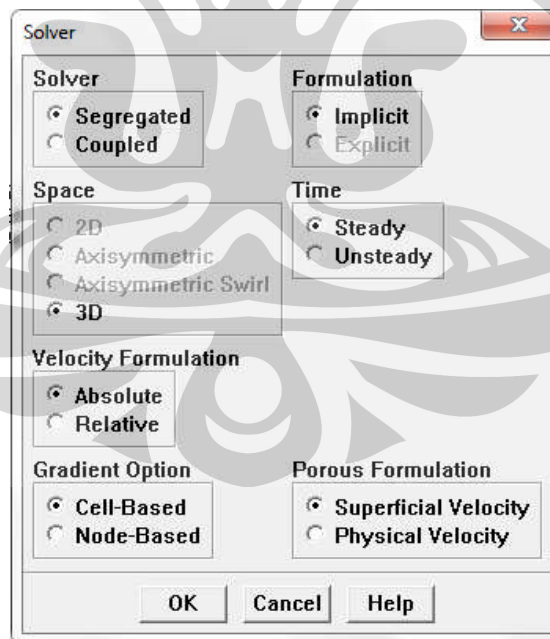


Gambar 3- 16 Grid *Burner*.

4. Mendefinisikan parameter apa saja yang akan dimasukkan dalam memodelkan *burner* tersebut seperti *solver*, tipe *viscosity*-nya, persamaan energinya dan lain sebagainya.

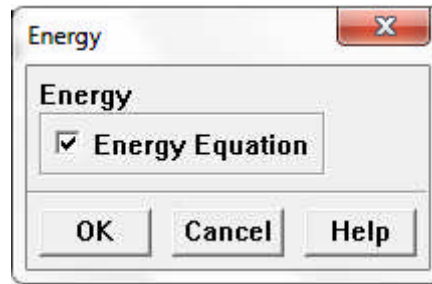
3.5.2 Models

1. Mendefinisikan jenis *solver* yang digunakan **Define>Models>Solver**.



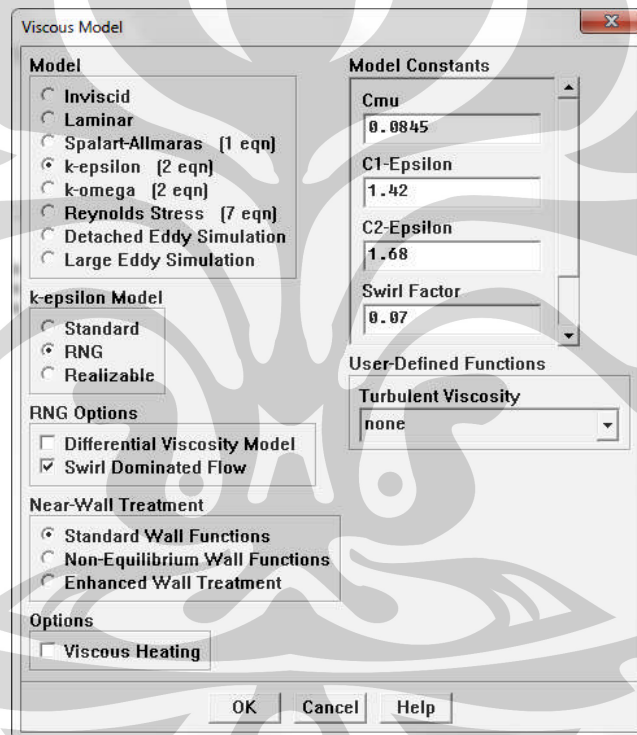
Gambar 3- 17 untuk Mendefinisikan Solver yang Digunakan

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



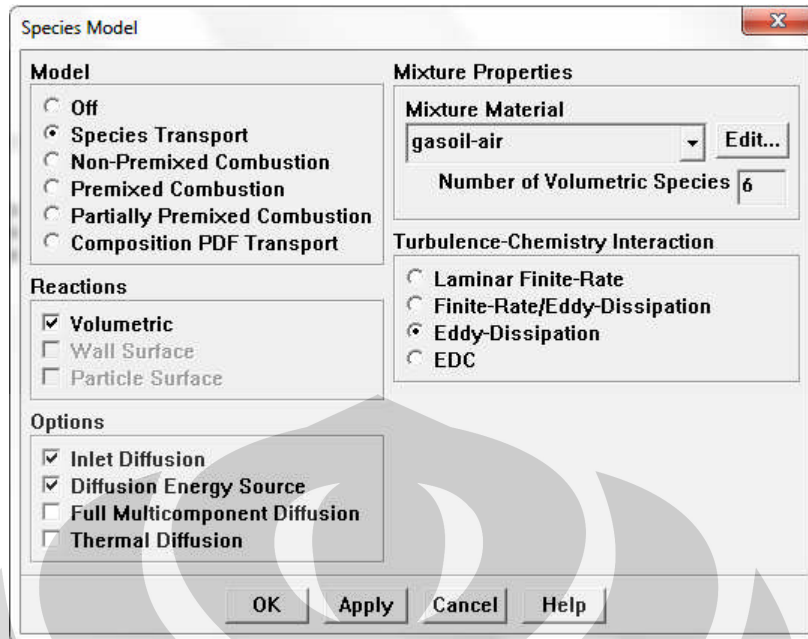
Gambar 3- 18 Untuk Mengaktifkan Persamaan Energi.

3. Mengaktifkan model turbulensi $k-\epsilon$ **Define>Models>Viscous**



Gambar 3- 19 Untuk Mengaktifkan Model Turbulensi

4. Mengaktifkan spesies kimia reaksi dan perpindahan
Define>Models>Species>Transport & Reaction.

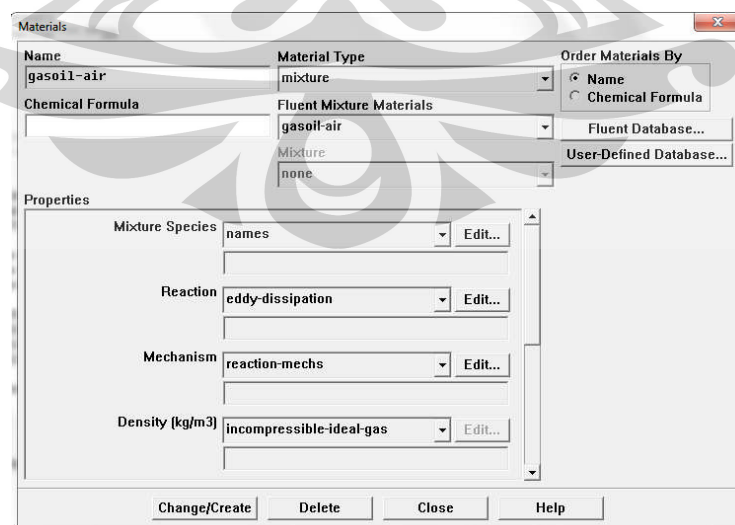


Gambar 3- 20 Untuk Mengaktifkan Spesies Kimia Reaksi dan Perpindahan.

3.5.3 Materials

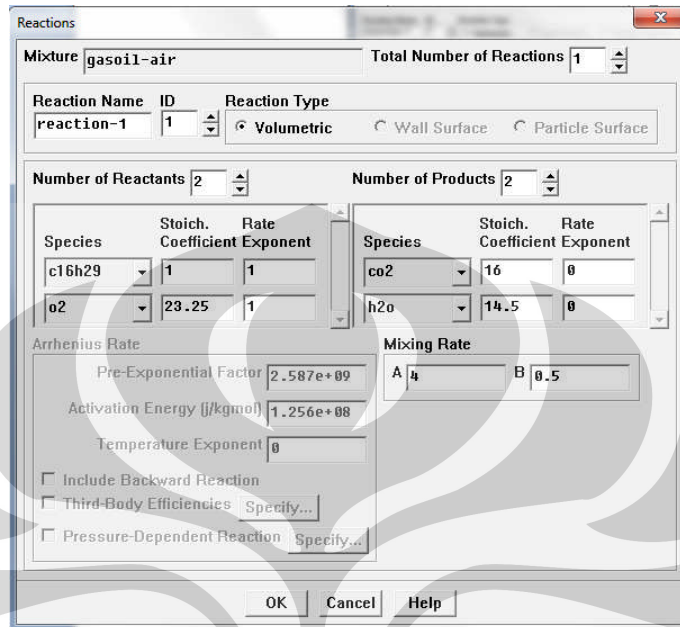
Untuk men-definisikan material atau reaksi percampuran yang terjadi di dalam *burner* dilakukan dengan langkah berikut ini:

Define → Materials



Gambar 3- 21 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- 22 Jendela untuk Memasukkan Reaksi yang Ada

Reaksi yang dimasukkan adalah berupa reaksi stokiometrik sebagai berikut:



Reaksi tersebut merupakan reaksi yang terjadi ketika dilakukan percampuran antara solar $\text{C}_{16}\text{H}_{29}$ dengan udara.

3.5.4 Boundary Condition

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

Define>Boundary Condition

1. Inlet bahan bakar:

Velocity Inlet

Zone Name
inlet_bahan_bakar

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude [m/s]: 4.04 constant

Temperature [K]: 473 constant

Turbulence Specification Method: K and Epsilon

Turb. Kinetic Energy [m2/s2]: 1 constant

Turb. Dissipation Rate [m2/s3]: 1 constant

Species Mass Fractions

Species	Mass Fraction	Specification
c16h29	1	constant
o2	0	constant
co2	0	constant
h2o	0	constant

OK Cancel Help

Gambar 3- 23 Untuk Memasukkan Parameter pada Inlet Bahan Bakar

Untuk spesiesnya maka masukkan fraksi massa dari bahan bakar solar (gasoil) yaitu sebesar 1. Dengan temperatur bahan bakar masuk adalah 300,15 K dengan kecepatan awalnya adalah 4,04 m/s.

2. Inlet udara:

Velocity Inlet

Zone Name
inlet_udara

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude [m/s]: 98 constant

Temperature [K]: 300 constant

Turbulence Specification Method: K and Epsilon

Turb. Kinetic Energy [m2/s2]: 1 constant

Turb. Dissipation Rate [m2/s3]: 1 constant

Species Mass Fractions

Species	Mass Fraction	Specification
o2	0.22	constant
co2	0	constant
h2o	0	constant
n2	0.78	constant

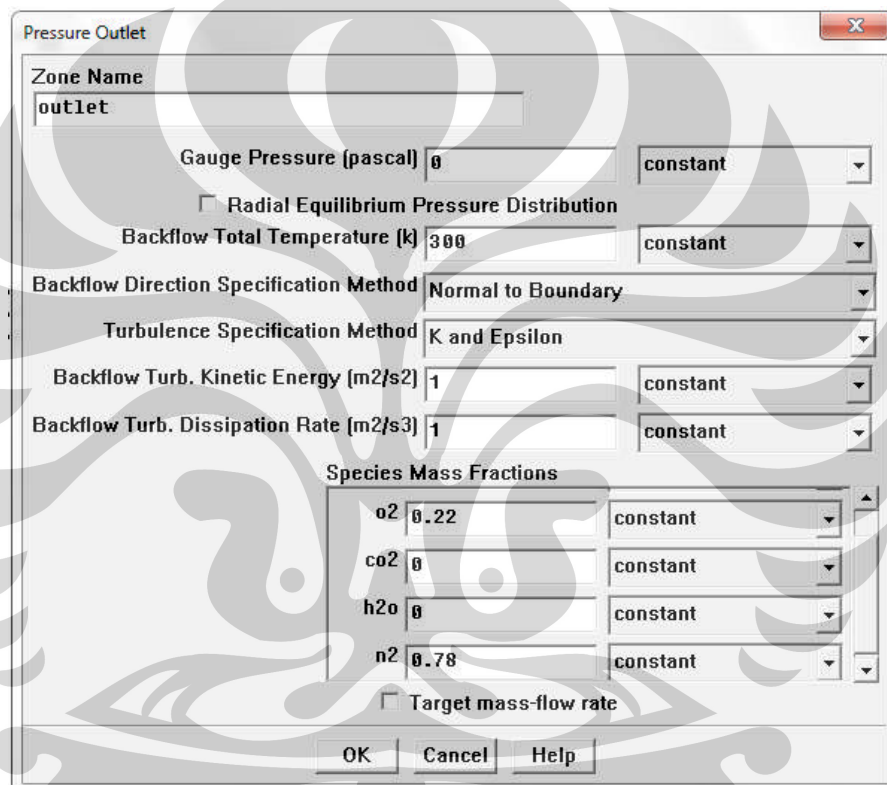
OK Cancel Help

Gambar 3-23 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 98 m/s dan temperatur ruangan 27⁰ C atau 300,15 K.

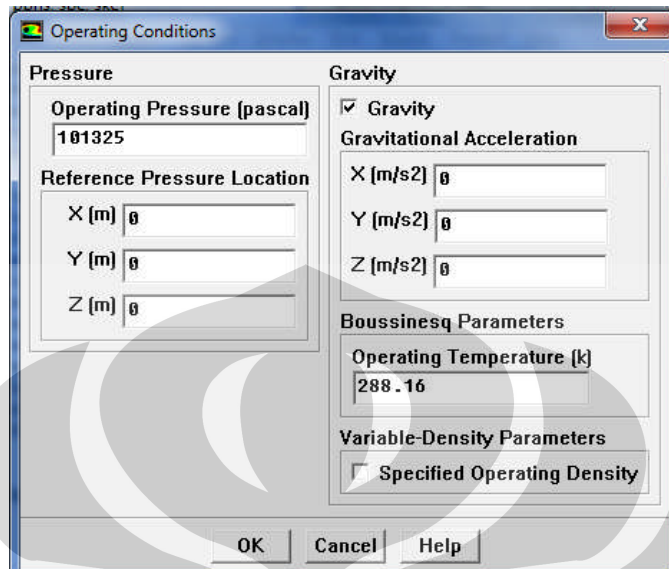
3. Outlet

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- 24 Jendela untuk pemilihan outlet.

3.5.5 Operating condition



Gambar 3- 25 Jendela untuk Mengaktifkan Parameter Kondisi Kerja dengan Gaya Gravitasi.

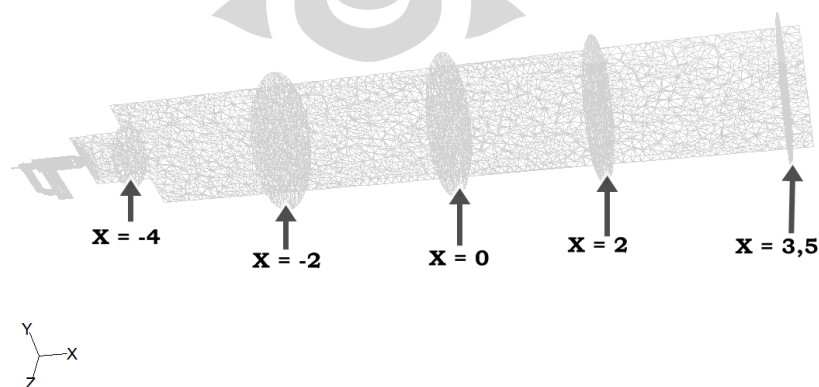
Kondisi operasi merupakan kondisi dimana domain tersebut bekerja. Nilai yang bisa dimasukkan/dirubah adalah tekanan yang terjadi selama operasi, dan letak referensi tekanan operasi tersebut.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1 HASIL

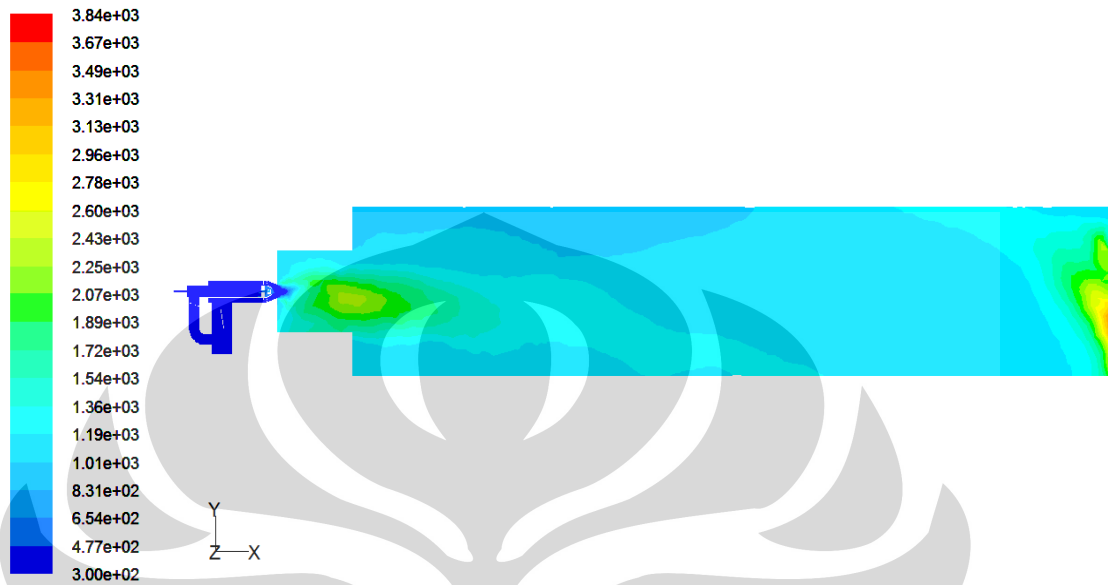
Simulasi yang dilakukan adalah pengkondisian suatu burner kiln yang digunakan untuk mengurangi *moisture* dari batu. Pada burner ini terdapat dua buah *swirl* yang mempengaruhi aliran udara di dalam burner yang akan bercampur dengan bahan bakar solar. Untuk mendapatkan nilai distribusi temperatur yang sesuai yang dibutuhkan untuk mengeringkan batu, dibutuhkan beberapa variasi dari nilai *equivalent ratio* pada burner yang mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang dipakai di dalam percampuran antara bahan bakar dengan udara. Dengan menggunakan parameter-parameter yang telah disebutkan pada bab-bab sebelumnya, telah didapatkan hasil distribusi temperatur di dalam kiln.

Pada laporan akhir ini akan ditampilkan hasil distribusi temperatur yang didapatkan yang telah dipengaruhi oleh nilai *equivalent ratio* serta *swirl* ganda yang ada di dalam burner. Akan dibandingkan pengaruh bertambahnya nilai *equivalent ratio* serta pengaruh bukaan *butterfly* atau klep yang ada pada saluran udara pada burner. Akan dilihat distribusi temperatur dari burner yang dilihat dari *plane* tengah burner dimulai dari ujung masuknya bahan bakar sampai ke ujung kiln burner. Data yang didapatkan merupakan distribusi temperatur yang diambil dari sumbu X dari *plane* tengah burner. Gambar 4.1 berikut merupakan ilustrasi dari besar jarak pada data yang akan ditampilkan.



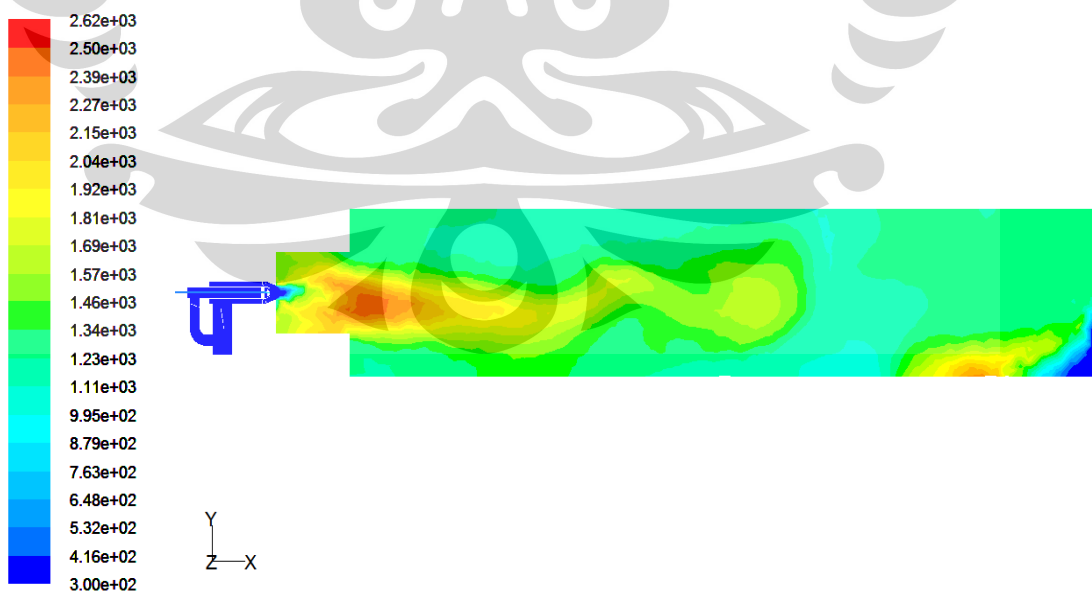
Gambar 4- 1Ilustrasi Nilai Jarak pada Sumbu X

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 80-20 dengan *equivalent ratio* 0,29



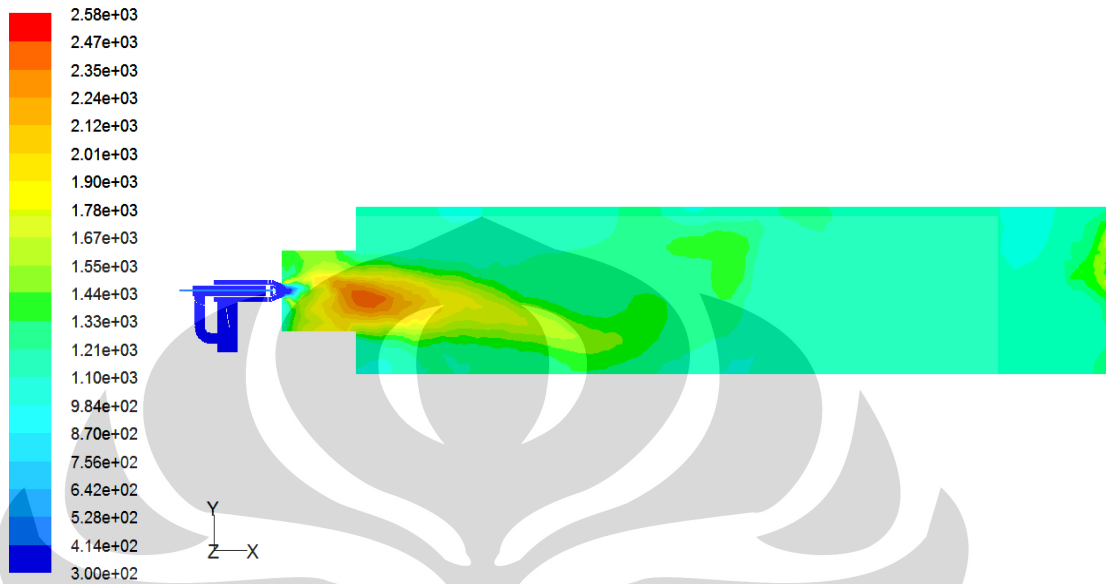
Gambar 4- 2 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,29

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 80-20 dengan *equivalent ratio* 0,385



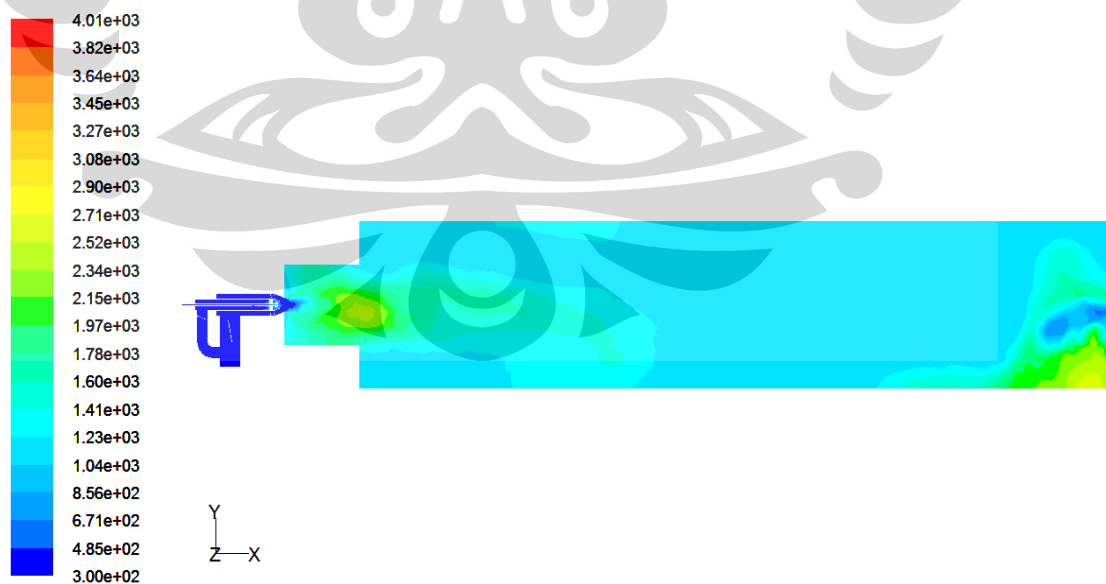
Gambar 4- 3 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,385

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 80-20 dengan *equivalent ratio* 0,6



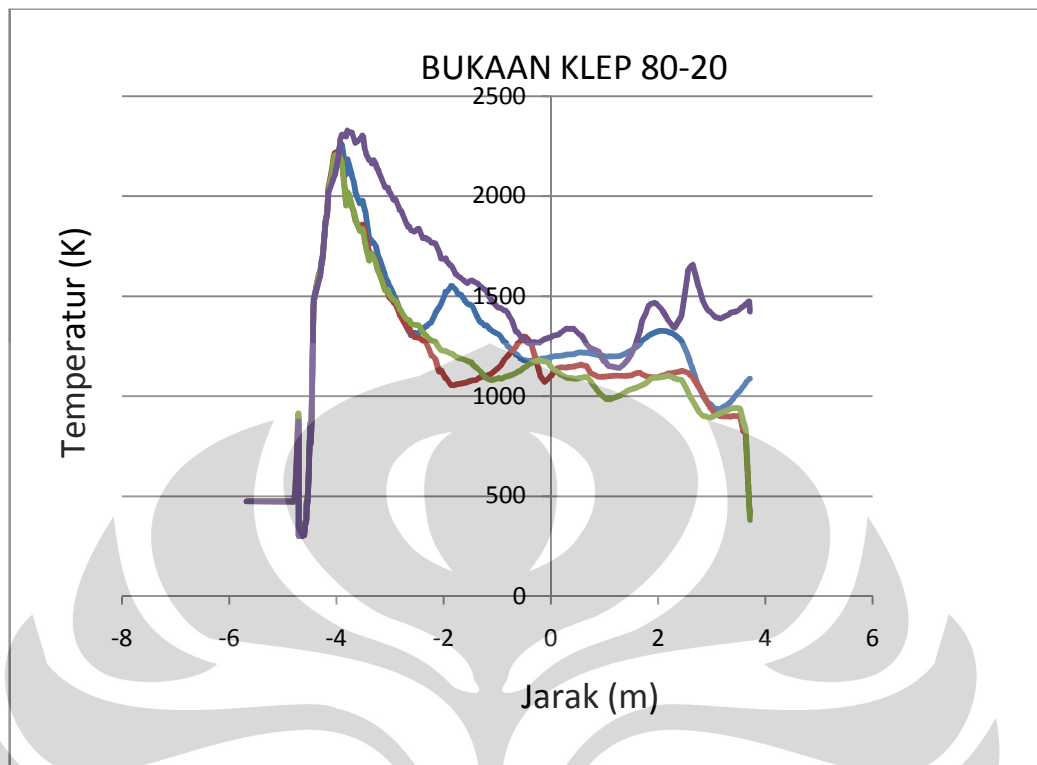
Gambar 4- 4 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 0,6

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 80-20 dengan *equivalent ratio* 1,2



Gambar 4- 5 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 80-20 eqr 1,2

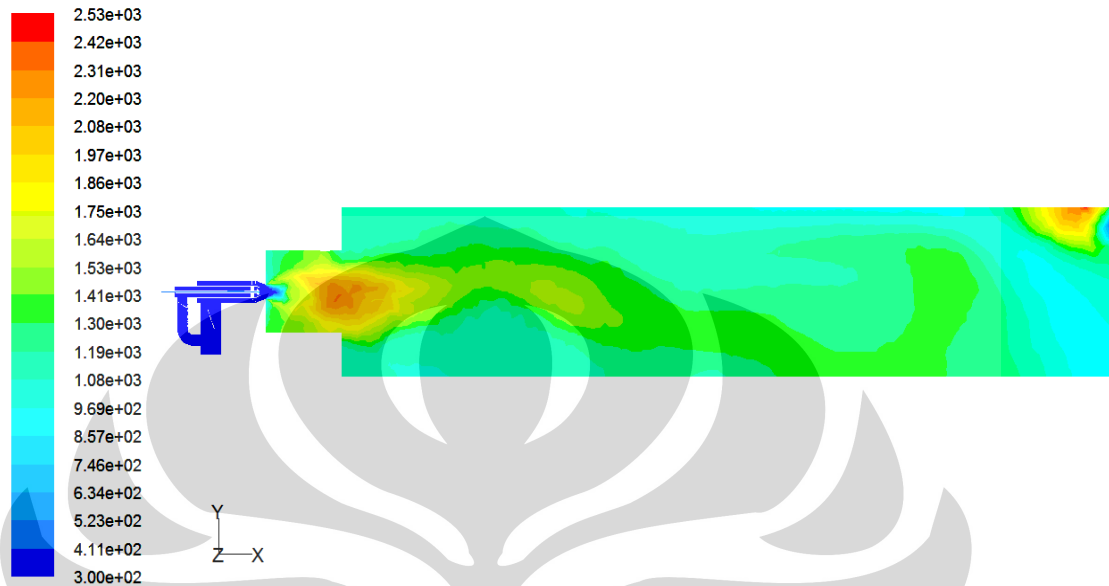
4.1.1 Grafik Bukaannya Klep 80-20 dengan Variasi *Equivalent Ratio*



Grafik 4- 1 Distribusi Temperatur Bukaannya 80-20 dengan Variasi EQR

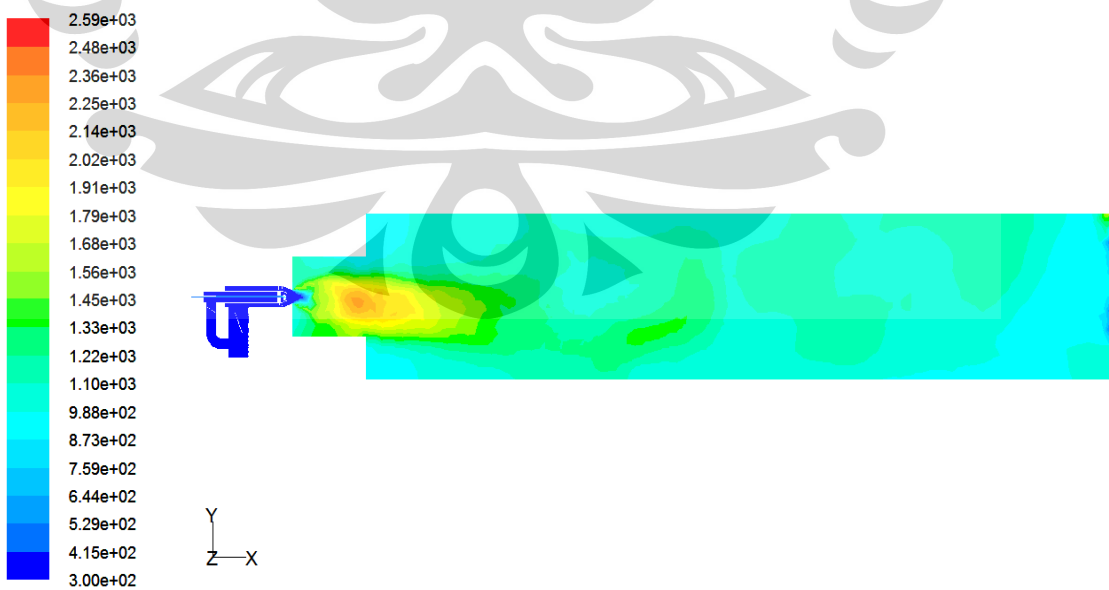
Pada perbandingan grafik distribusi temperatur dengan bukaan 80-20 pada *plane* tengah dengan variasi *equivalent ratio* ini, didapatkan bahwa nilai temperatur pada $X = -5$ mulai naik secara drastis dikarenakan bahan bakar solar mulai bertemu dengan udara yang telah mengalami turbulensi akibat dari pengaruh *swirl* ganda yang terletak pada ujung aliran udara. Temperatur maksimum yang didapatkan di sekitar jarak $x = -4$. Meskipun temperatur yang terbesar adalah pada *equivalent ratio* 1,2, distribusi temperatur rata-rata yang terbesar adalah pada *equivalent ratio* 0,385, kemudian yang kedua *equivalent ratio* 0,6, lalu *equivalent ratio* 1,2 dan yang terendah adalah pada *equivalent ratio* 0,29. Karena yang dicari merupakan distribusi temperatur yang tertinggi, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada bukaan klep 80-20 yang terbaik adalah dengan menggunakan nilai *equivalent ratio* 0,385.

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 70-30 dengan *equivalent ratio* 0,29



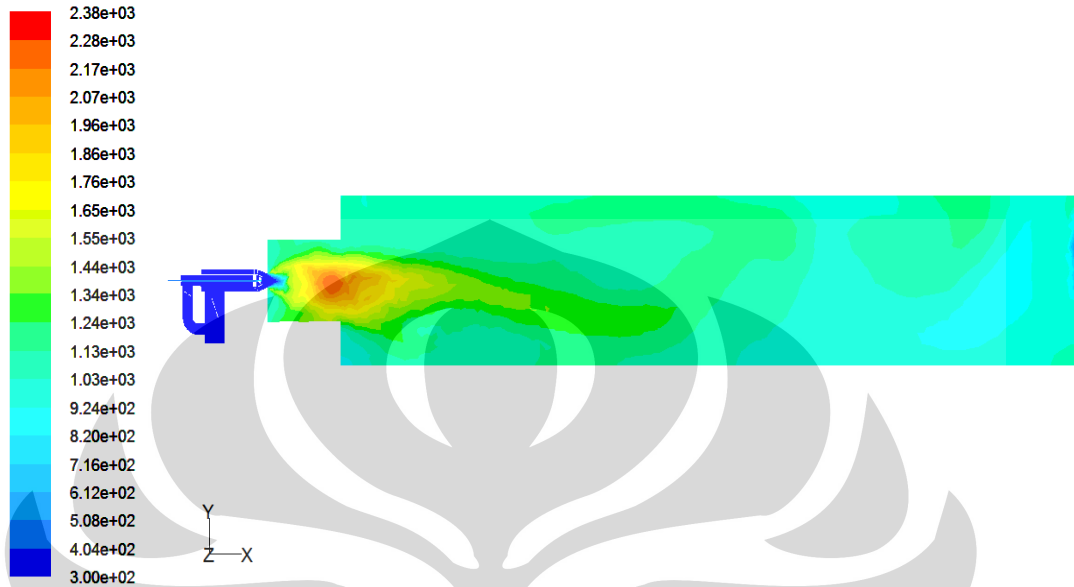
Gambar 4- 6 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,29

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 70-30 dengan *equivalent ratio* 0,385



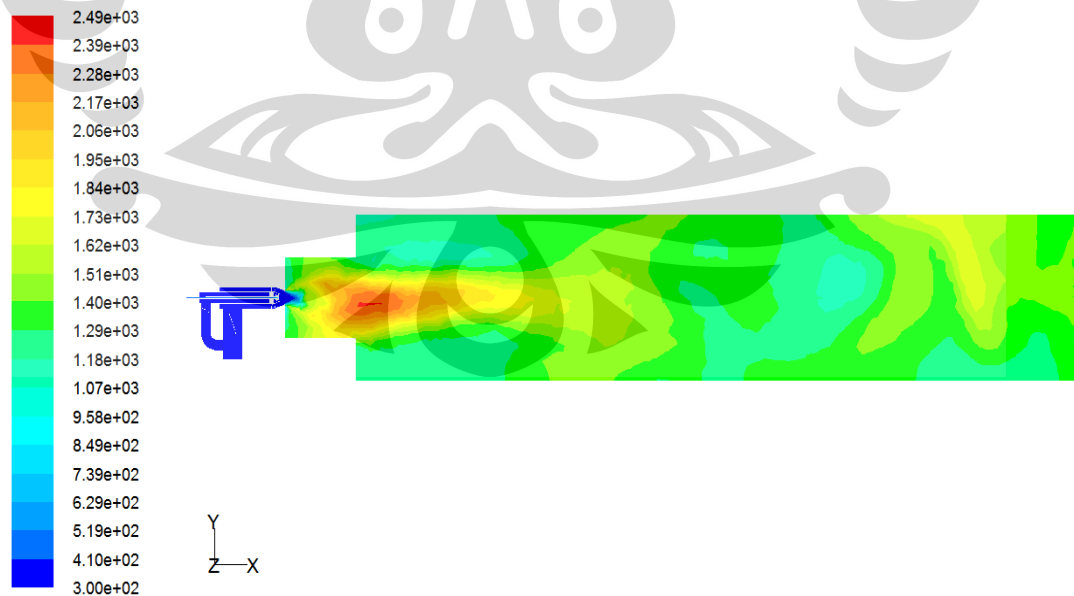
Gambar 4- 7 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,385

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 70-30 dengan *equivalent ratio* 0,6



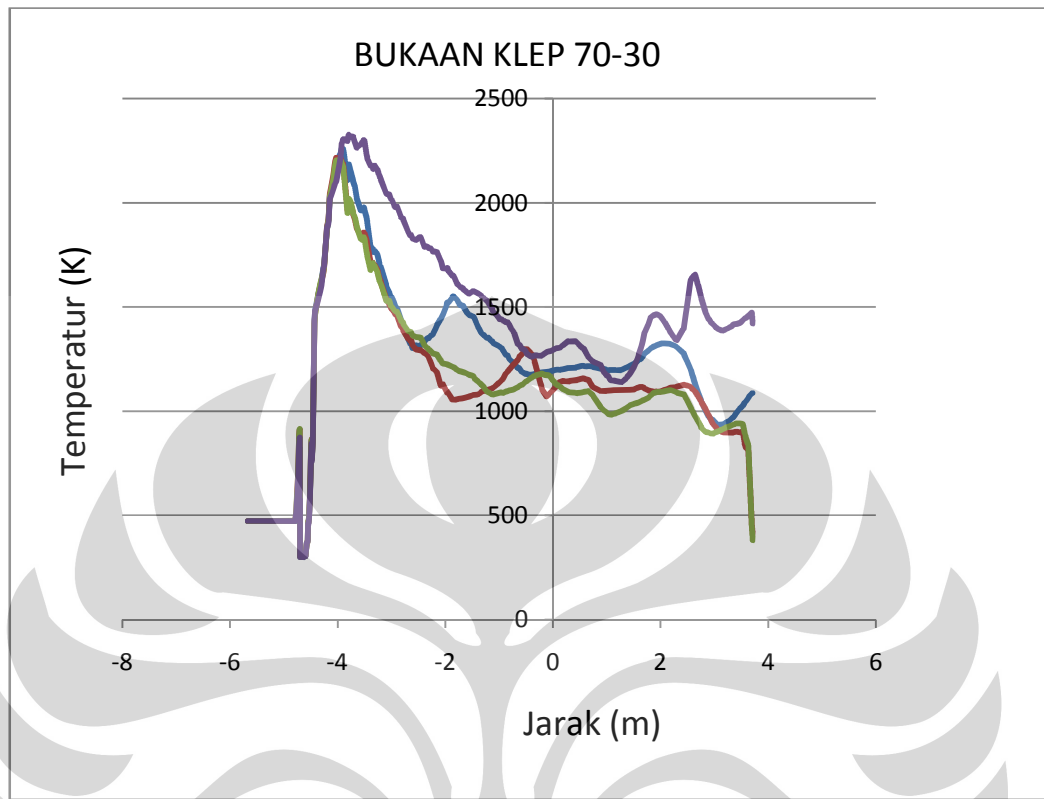
Gambar 4- 8 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 0,6

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 70-30 dengan *equivalent ratio* 1,2



Gambar 4- 9 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 70-30 eqr 1,2

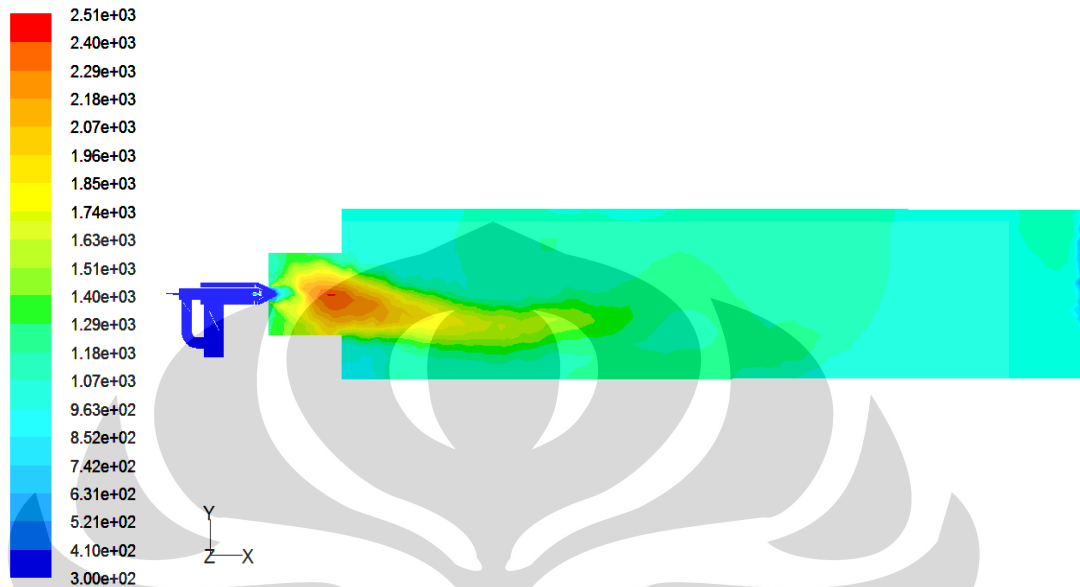
4.1.2 Grafik Bukaannya Klep 70-30 dengan Variasi *Equivalent Ratio*



Grafik 4- 2 Distribusi Temperatur Bukaannya 70-30 dengan Variasi EQR

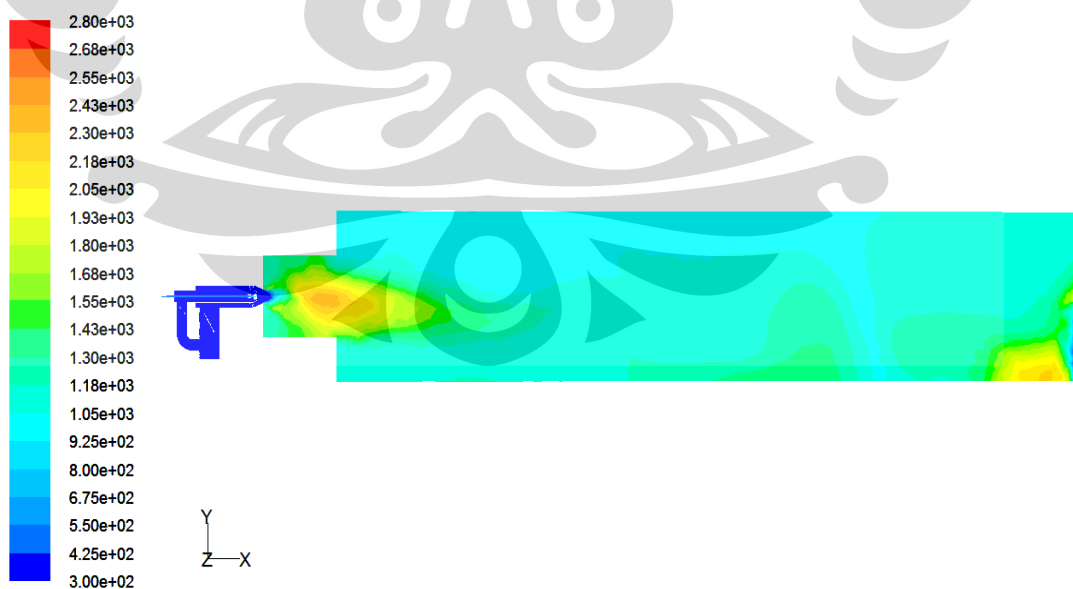
Pada grafik perbandingan distribusi temperatur pada bukannya klep 70-30 dengan variasi *equivalent ratio* ini temperatur mulai naik pada $x = -5$ dan temperatur maksimum terjadi pada $x = -3,8$. Distribusi temperatur rata-rata pada *equivalent ratio* 0,29 adalah 730 K, *equivalent ratio* 0,385 adalah 423°C , *equivalent ratio* 0,6 adalah 420°C dan *equivalent ratio* 1,2 adalah 517°C . Maka dapat disimpulkan bahwa pada bukannya klep 70-30 ini distribusi temperatur yang paling tinggi adalah pada *equivalent ratio* 1,2 yang merupakan kondisi *rich fuel*.

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 60-50 dengan *equivalent ratio* 0,29



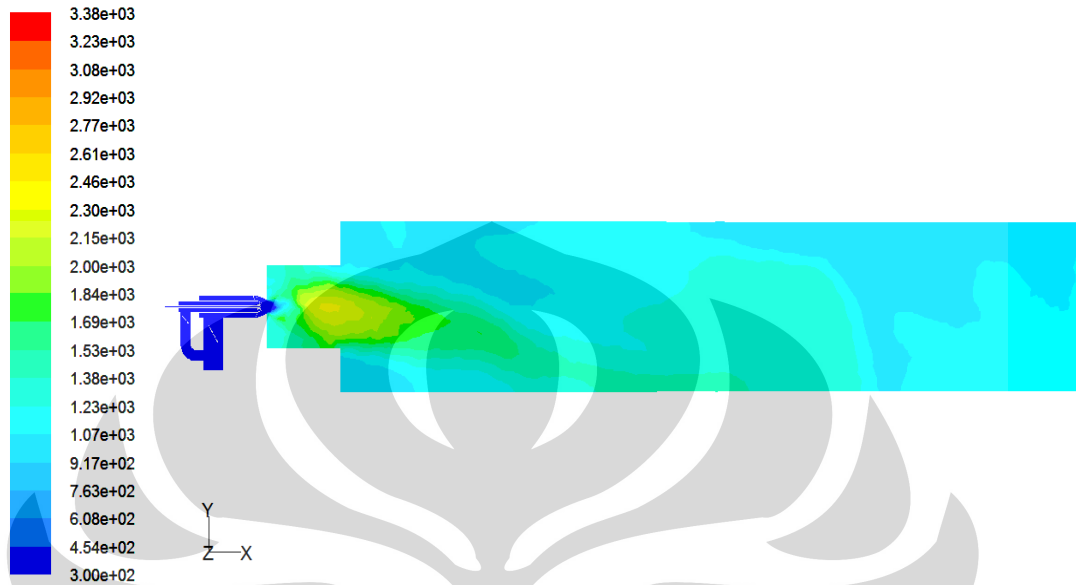
Gambar 4- 10 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,29

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 60-50 dengan *equivalent ratio* 0,385



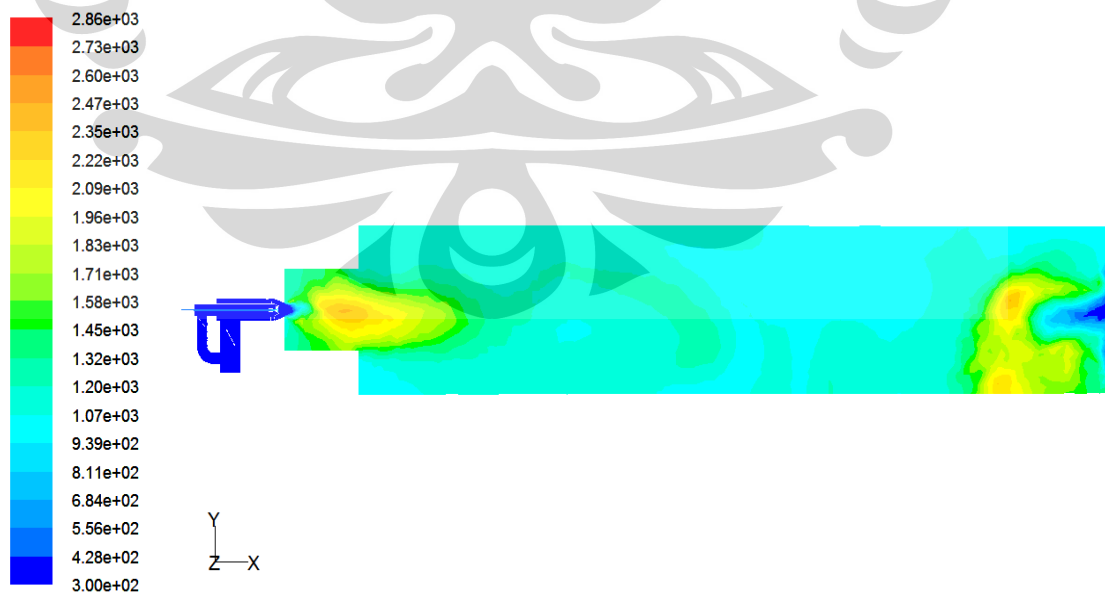
Gambar 4- 11 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,385

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 60-50 dengan *equivalent ratio* 0,6



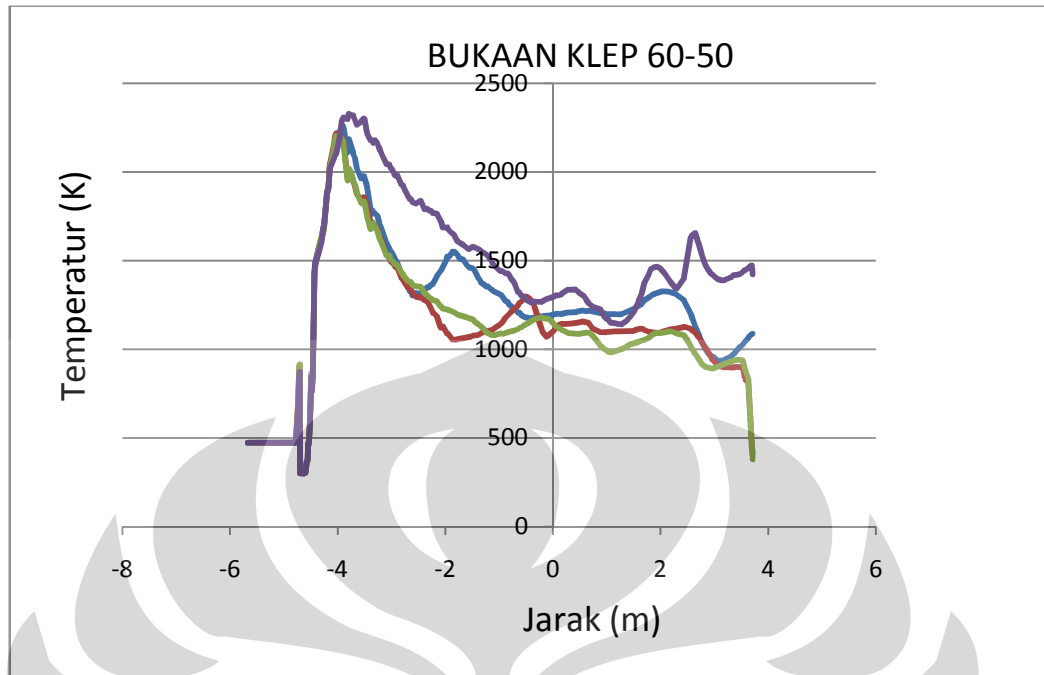
Gambar 4- 12 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 0,6

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 60-50 dengan *equivalent ratio* 1,2



Gambar 4- 13 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 60-50 eqr 1,2

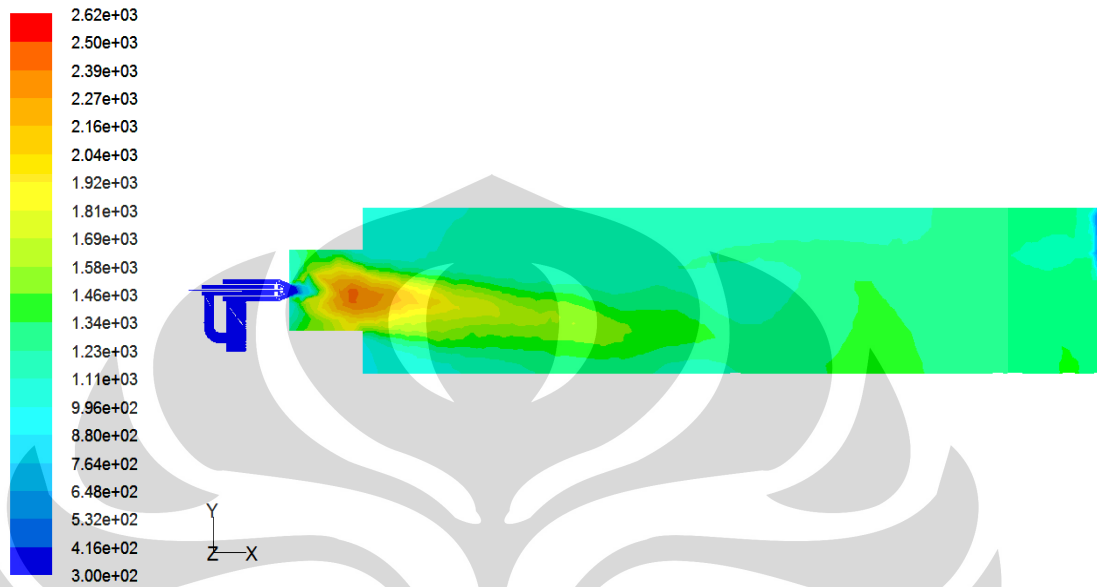
4.1.3 Grafik Bukaannya Klep 60-50 dengan Variasi *Equivalent Ratio*



Grafik 4- 3 Distribusi Temperatur Bukaannya 60-50 dengan Variasi EQR

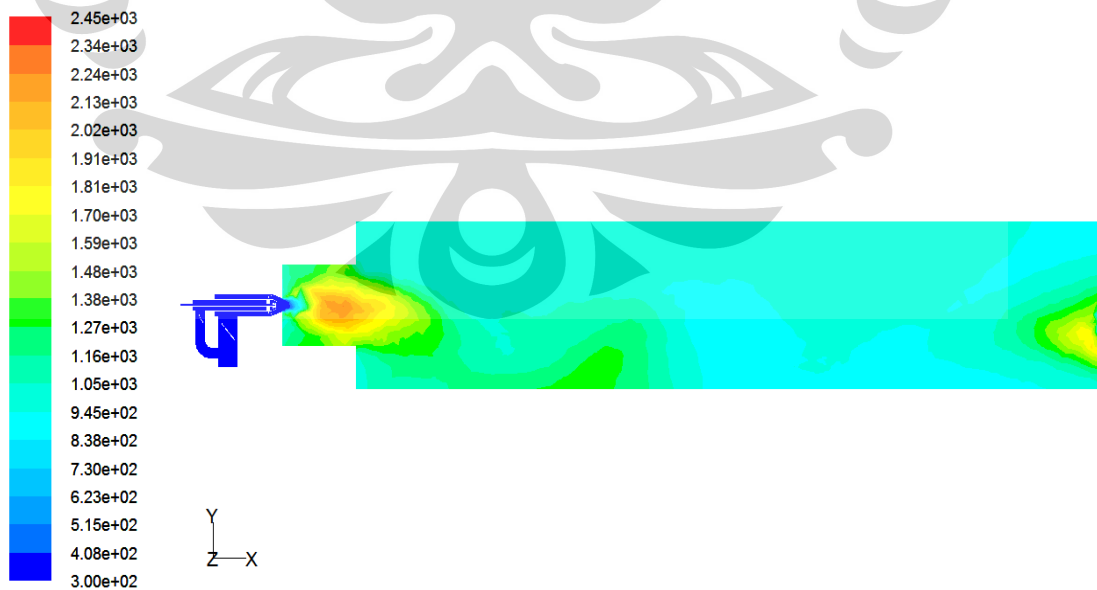
Grafik perbandingan distribusi temperatur dengan bukaannya klep 60-50 menunjukkan bahwa nilai temperatur maksimum terjadi pada $x = -3,8$. Penurunan temperatur yang cukup drastis terjadi pada *equivalent ratio* 0,29, 0,385 dan 0,6 yaitu sekitar 923°C . Akan tetapi pada *equivalent ratio* 1,2 temperatur hanya turun sampai temperatur sebesar 1127°C . Ini menunjukkan bahwa pada bukaannya klep 60-50 distribusi temperatur yang terbaik adalah dengan menggunakan *equivalent ratio* 1,2 dengan pengaruh *swirl* ganda dan *flowrate* dengan asupan udara yang sama.

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 50-60 dengan *equivalent ratio* 0,29



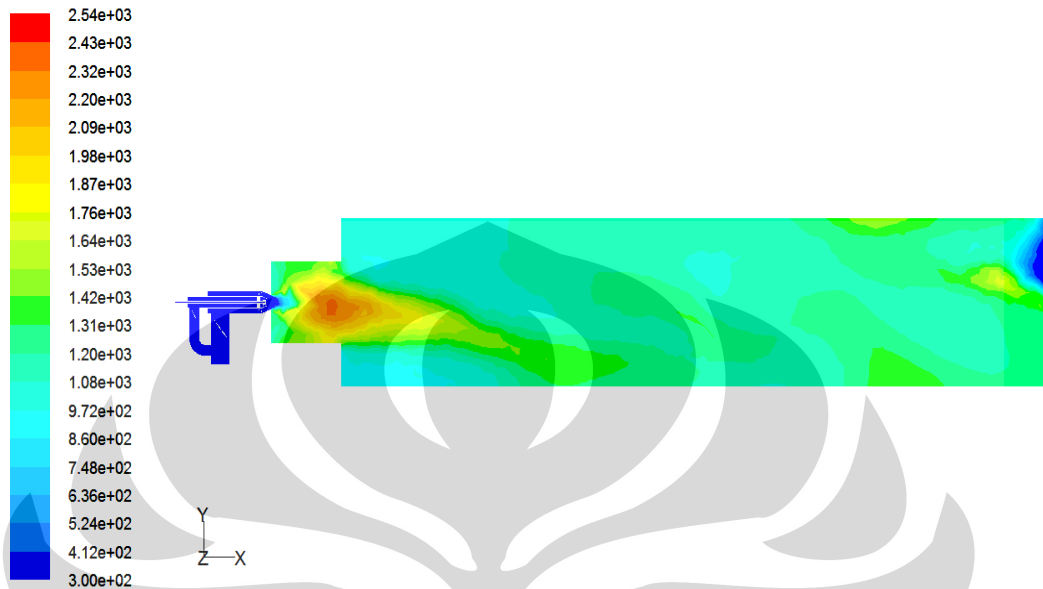
Gambar 4- 14 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,29

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 50-60 dengan *equivalent ratio* 0,385



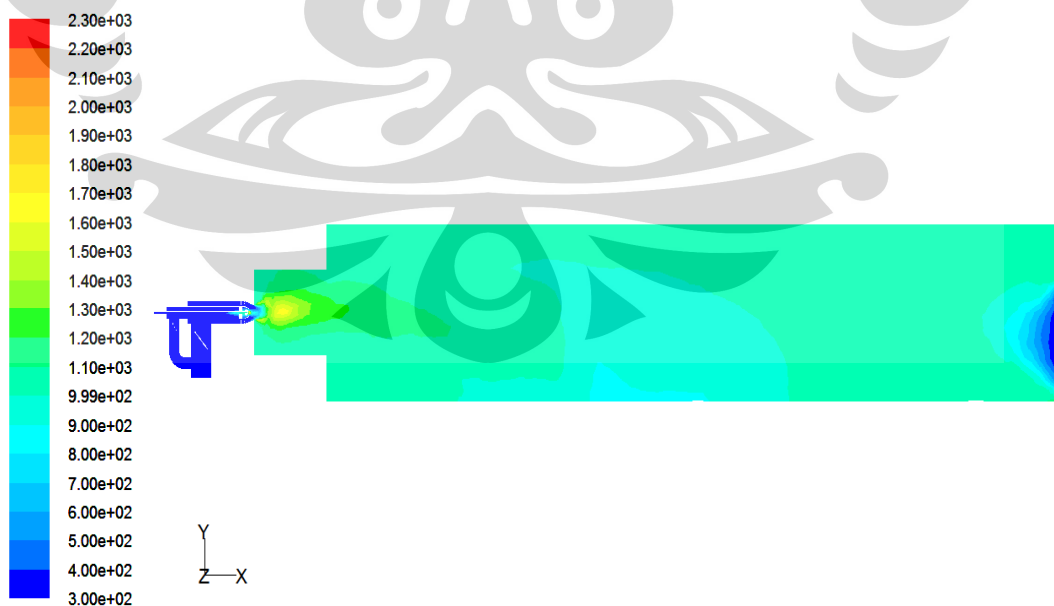
Gambar 4- 15Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,385

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 50-60 dengan *equivalent ratio* 0,6



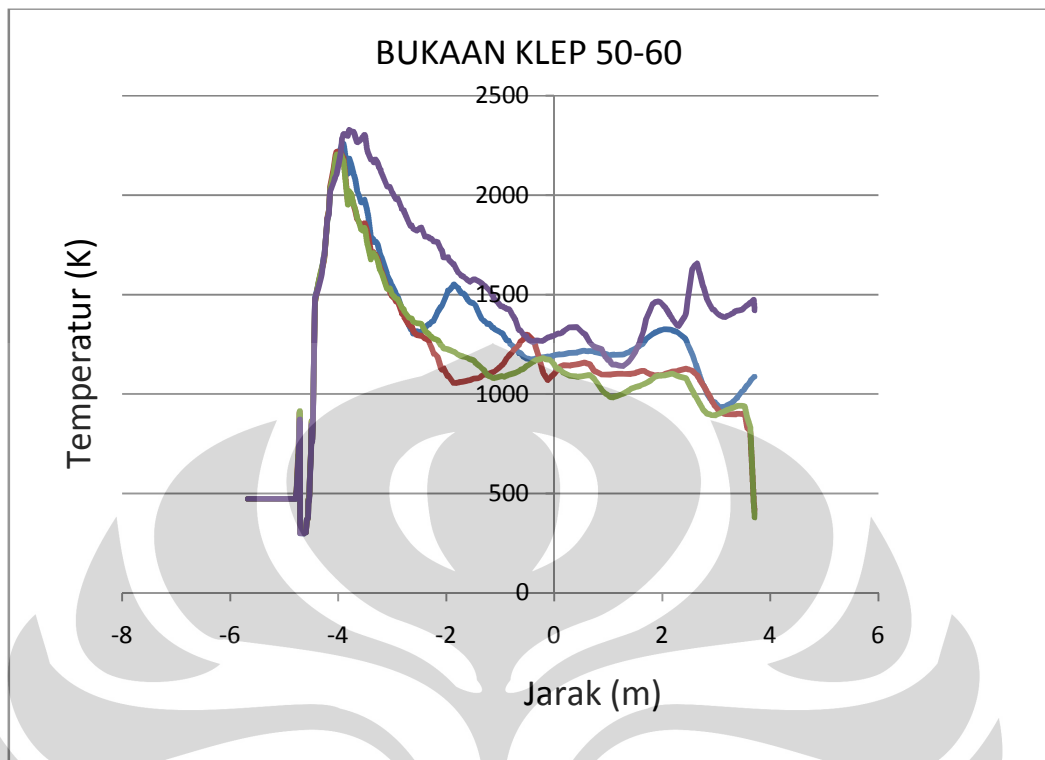
Gambar 4- 16 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 0,6

- ❖ Distribusi temperatur pada *plane* tengah burner pada bukaan klep 50-60 dengan *equivalent ratio* 1,2



Gambar 4- 17 Kontur Temperatur pada Plane Tengah Burner 50-60 eqr 1,2

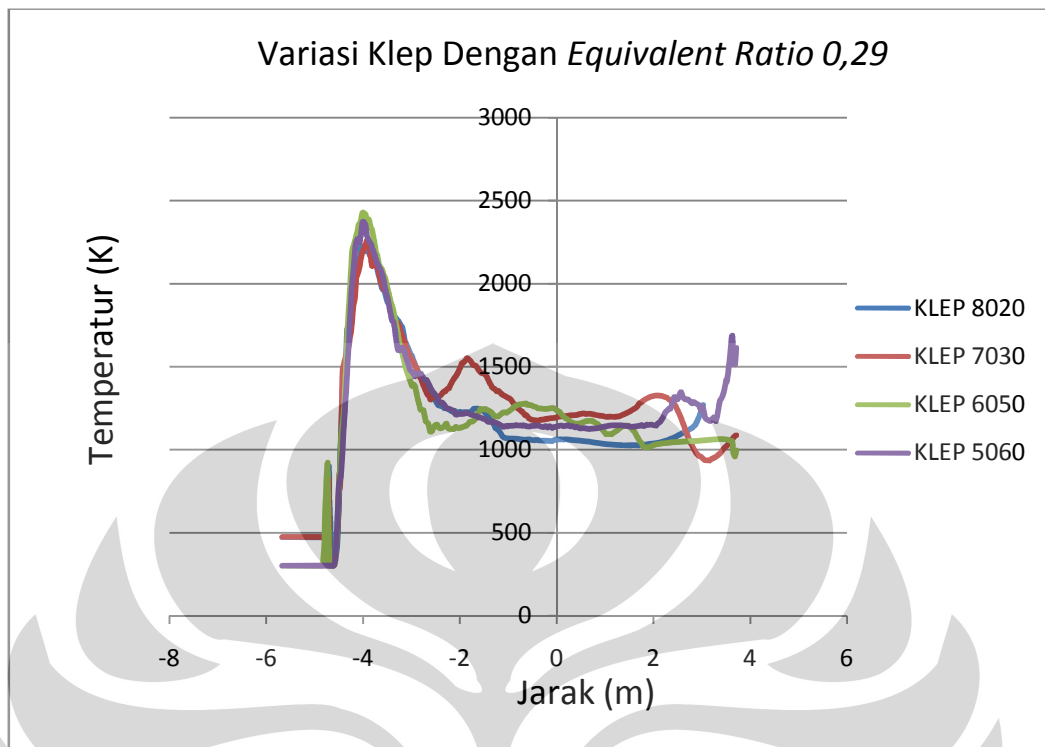
4.1.4 Grafik Bukaannya Klep 50-60 dengan Variasi *Equivalent Ratio*



Grafik 4- 4 Distribusi Temperatur Bukaannya 50-60 dengan Variasi EQR

Grafik distribusi temperatur pada *plane* tengah dengan bukaan klep 50-60 menunjukkan kenaikan temperatur pada jarak x yang hampir sama yaitu pada $x = -4$. Akan tetapi pada *equivalent ratio* 1,2 terjadi hal yang berbeda. Distribusi temperatur pada sumbu x yang ditunjukkan setelah temperatur mulai turun memperlihatkan bahwa temperatur yang terjadi tidak jauh berbeda, dengan temperatur pada *equivalent ratio* 0,29 dan *equivalent ratio* 0,6 merupakan distribusi temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan *equivalent ratio* 0,385 dan 1,2. Distribusi temperatur yang terjadi pada *equivalent ratio* 1,2 juga cukup tinggi meskipun temperatur maksimumnya jauh di bawah yang lainnya. Sehingga didapatkan bahwa distribusi temperatur yang baik dan lebih stabil pada bukaan klep 50-60 adalah pada *equivalent ratio* 0,6 yang menunjukkan *lean fuel mixture*.

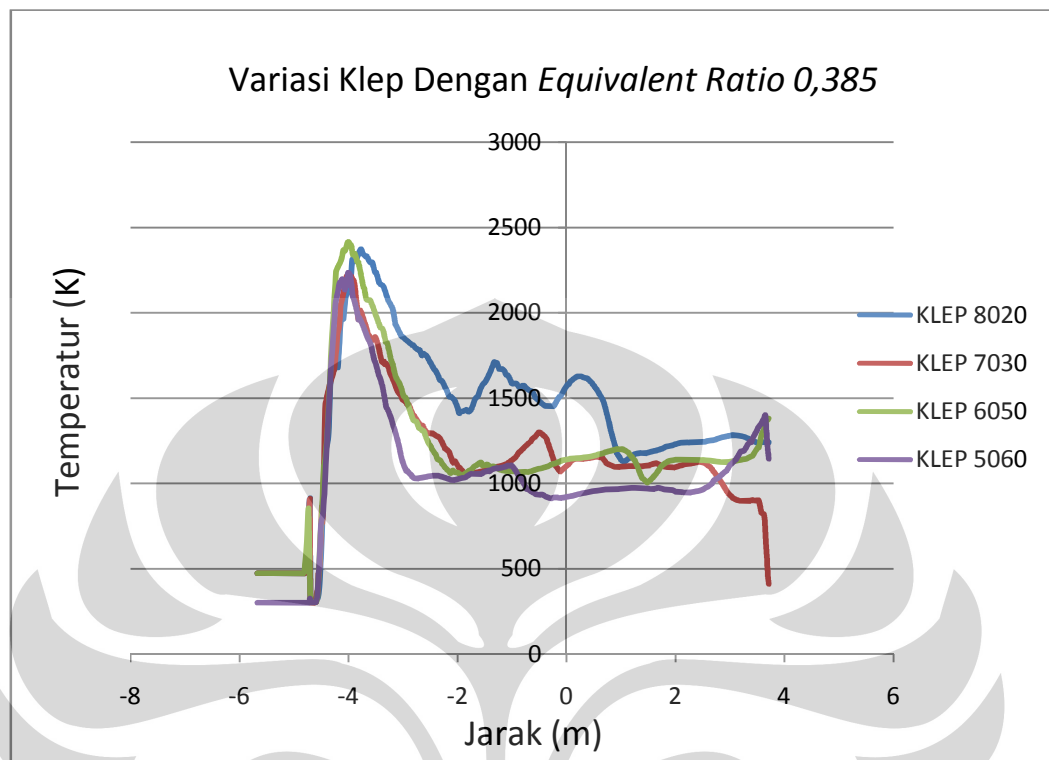
4.1.5 Grafik Variasi Bukaannya Klep dengan *Equivalent Ratio* 0,29



Grafik 4- 5 Distribusi Temperatur EQR 0,29 dengan Variasi Bukaannya Klep

Grafik di atas menunjukkan fluktuasi yang tidak jauh berbeda pada bukaannya klep yang berlainan. Grafik distribusi temperatur dengan nilai *equivalent ratio* sebesar 0,29 pada setiap bukaannya klep yang berbeda-beda tidak menunjukkan perubahan temperatur yang jauh berbeda. Pada sekitar jarak $x = -4$. Distribusi temperatur pada jarak $x = 0$ sampai dengan jarak $x = 3$ merupakan temperatur yang terjadi di tengah kiln, dengan temperatur sekitar 827°C sampai dengan 927°C . Pada burner dengan *equivalent ratio* 0,29 distribusi temperatur yang tinggi adalah pada bukaannya klep 70-30 dan 60-50. Bukaannya klep 80-20 memberikan distribusi temperatur yang paling rendah pada *equivalent ratio* 0,29 ini. Dengan begitu, apabila diberikan nilai *equivalent ratio* sebesar 0,29, sebaiknya konfigurasi bukaannya *butterfly* mendekati bukaannya klep 70-30.

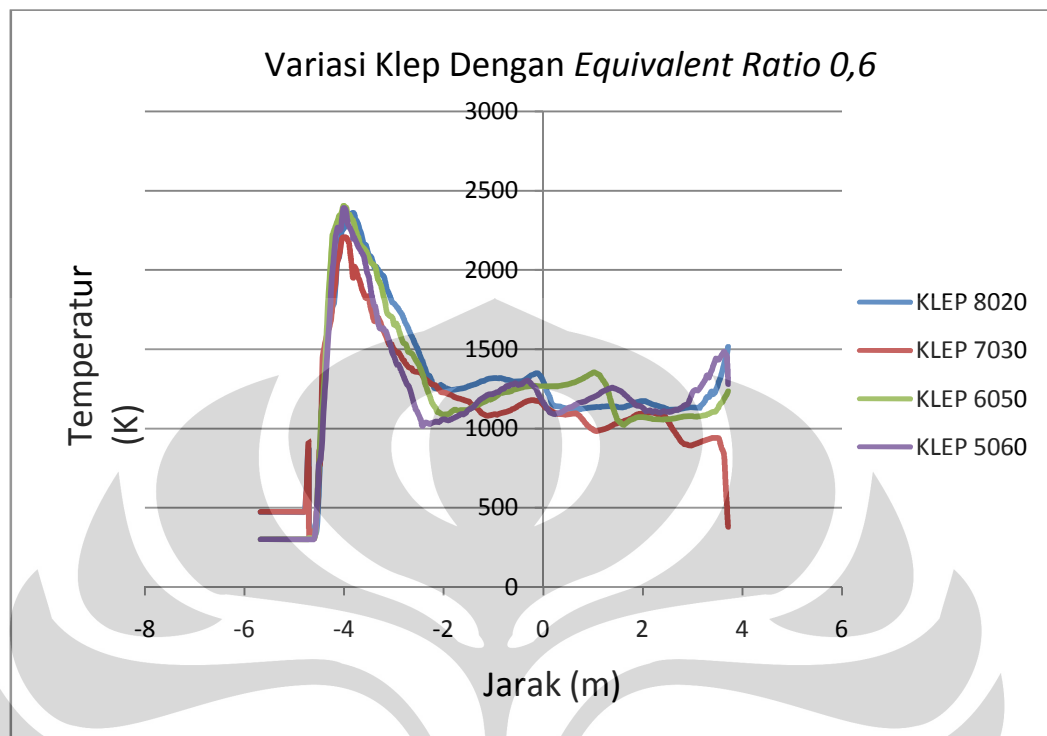
4.1.6 Grafik Variasi Bukaannya Klep dengan *Equivalent Ratio* 0,385



Grafik 4- 6 Distribusi Temperatur EQR 0,385 dengan Variasi Bukaannya Klep

Pada grafik distribusi temperatur dengan *equivalent ratio* sebesar 0,385 ini dapat dilihat bahwa bukaannya klep 80-20 menunjukkan nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai distribusi temperatur pada bukaannya klep yang lainnya. Meskipun temperatur maksimum adalah pada bukaannya klep 60-50, akan tetapi distribusi temperatur pada jarak $x=-2$ sampai dengan $x=2$ menunjukkan bahwa temperatur pada bukaannya klep 80-20 sekitar 1127°C , sedangkan pada bukaannya klep yang lain hanya sekitar 827°C sampai 927°C . Nilai distribusi temperatur yang terendah adalah pada bukaannya klep 50-60 yang sampai menunjukkan nilai temperatur di bawah 827°C . Oleh karena itu, dengan nilai *equivalent ratio* sebesar 0,385 maka bukaannya klep yang terbaik adalah mengikuti bukaannya klep 80-20 dan yang terburuk adalah pada bukaannya klep 50-60.

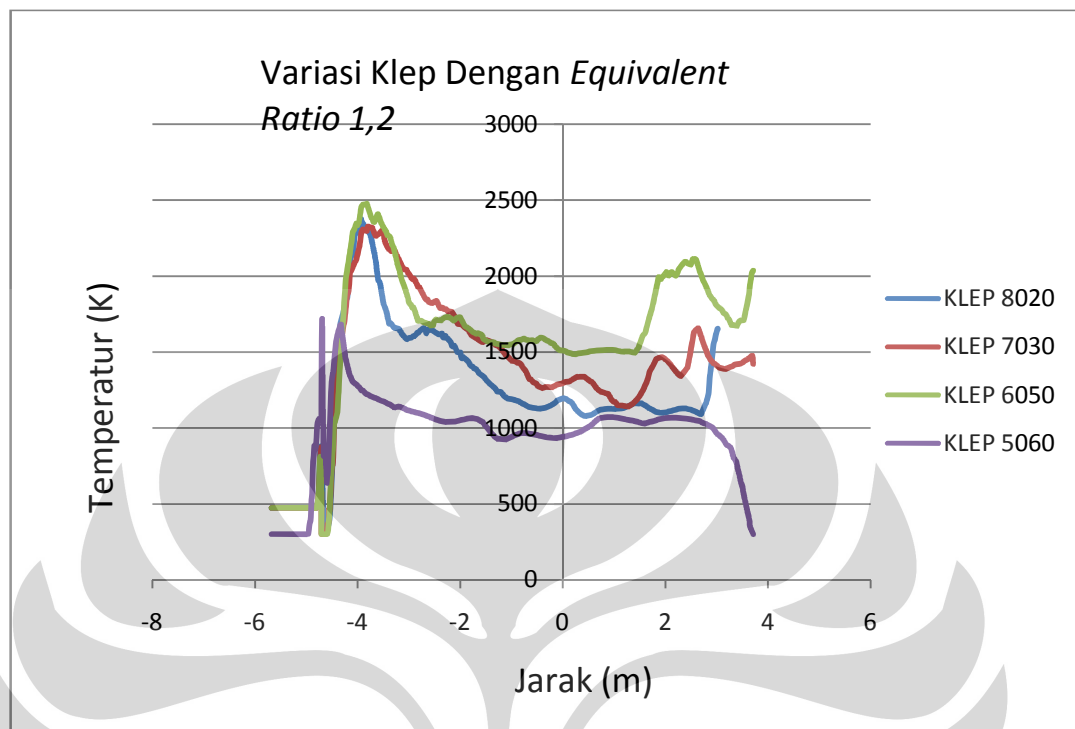
4.1.7 Grafik Variasi Bukaannya Klep dengan *Equivalent Ratio* 0,6



Grafik 4- 7 Distribusi Temperatur EQR 0,6 dengan Variasi Bukaannya Klep

Grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi temperatur pada nilai *equivalent ratio* 0,6 dengan bukaannya klep yang bervariasi tidak jauh berbeda. Temperatur maksimum ditunjukkan oleh bukaannya klep 6050 dengan nilai temperatur sebesar 2406 K. Pada jarak $x = -2$ sampai dengan $x = 2$ ditunjukkan besar temperatur pada *equivalent ratio* 0,6 adalah sekitar 827°C sampai dengan 927°C . Nilai distribusi temperatur yang paling tinggi pada jarak tersebut ditunjukkan oleh bukaannya klep 60-50, meskipun kemudian turun. Bukaannya klep 80-20 menunjukkan nilai temperatur yang cukup stabil yaitu sekitar 827°C . Maka dapat disimpulkan bahwa untuk nilai *equivalent ratio* sebesar 0,6 maka konfigurasi *butterfly* yang paling baik adalah mendekati 60-50 dan pada grafik ini yang terburuk adalah bukaannya klep 70-30.

4.1.8 Grafik Variasi Bukaannya Klep dengan *Equivalent Ratio* 1,2



Grafik 4- 8 Distribusi Temperatur EQR 1,2 dengan Variasi Bukaannya Klep

Grafik perbandingan distribusi temperatur di atas menunjukkan grafik temperatur dengan besar *equivalent ratio* sebesar 1,2. Perbedaan yang terjadi pada setiap bukaan klep sangat dapat dilihat, meskipun bentuk naik-turun dari grafik hampir sama pada setiap bukaan klepnya. Pada jarak $x = -4$ mulai terjadi temperatur maksimum yang merupakan permulaan bertemunya bahan bakar dan udara yang telah melalui dua buah *swirl* sehingga akan mempengaruhi temperatur yang terjadi. Pada grafik di atas, nilai temperatur yang tertinggi adalah pada bukaan klep 60-50 dengan nilai distribusi temperatur pada jarak $x=0$ sampai dengan $x=2$ adalah sekitar 1127°C . Pada bukaan klep 70-30 adalah sebesar 977°C , pada bukaan 80-20 sebesar 827°C dan yang terendah adalah pada bukaan klep 50-60 yaitu sekitar 727°C . Maka diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *equivalent ratio* sebesar 1,2 maka konfigurasi bukaan klep sebaiknya mendekati bukaan klep 60-50 dibandingkan dengan bukaan klep yang lainnya, dan sebaiknya konfigurasi bukaan klep yang dihindari adalah bukaan klep 50-60.

4.2 ANALISA

Dari hasil simulasi dengan variasi nilai *equivalent ratio* yaitu 0,29 , 0,385 , 0,6 , dan 1,2 dan juga variasi bukaan klep udara primer dan klep udara sekunder, telah didapatkan hasil kontur distribusi temperatur yang bervariasi meskipun fluktuasi yang terjadi hampir sama pada setiap kondisi yang didapatkan dengan memakai *software* fluent.

Dari grafik dan kontur distribusi temperatur yang telah diperlihatkan di atas, terlihat bahwa kecenderungan temperatur rata-rata yang cukup tinggi dimiliki oleh dua jenis bukaan klep, yaitu bukaan klep 60⁰ klep udara sekunder dan 50⁰ bukaan klep udara primer ataupun 80⁰ bukaan klep sekunder dan 20⁰ bukaan klep udara primer. Pada bukaan klep 50⁰ bukaan udara sekunder dan 60⁰ bukaan klep udara primer menunjukkan nilai distribusi temperatur adalah yang paling rendah dibandingkan dengan yang lainnya. Sedangkan untuk nilai *equivalent ratio* yang paling baik berbeda untuk setiap bukaan klepnya. Untuk Bukaan 80-20 temperatur paling tinggi ada pada *equivalent ratio* 0,385, untuk bukaan 70-30 nilai temperatur tertinggi adalah pada *equivalent ratio* 1,2, untuk bukaan klep 60-50 nilai temperatur tertinggi adalah nilai *equivalent ratio* 1,2 dan untuk bukaan 50-60 nilai temperatur tertinggi pada nilai *equivalent ratio* 0,6. Akan tetapi, apabila kita melihat semua grafiknya, dari semua variasi nilai *equivalent ratio* ini, nilai *equivalent ratio* 1,2 menunjukkan nilai temperatur yang paling tinggi pada semua bukaan klep dan distribusi temperatur pada jarak $x=-2$ sampai $x=2$ selalu di atas 927⁰C. Pada nilai *equivalent ratio* yang lain terlihat perubahan yang cukup signifikan meskipun dapat mencapai temperatur tertinggi pada keadaan tertentu.

Pada *burner* di studi ini, dengan memiliki dua buah *swirl* maka turbulensi yang terjadi juga akan semakin besar, sehingga ketika udara yang telah melewati dua buah *swirl* ini bertemu dengan bahan bakar solar, pembakaran dapat terjadi sampai temperatur menjadi cukup tinggi. Distribusi temperatur yang dicari pada laporan ini adalah distribusi temperatur yang paling tinggi dan stabil sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan temperatur yang tinggi dan stabil dibutuhkan nilai *equivalent ratio* yang mendekati 1,2. Dengan bukaan yang

cenderung mendekati 80-20 dan 60-50 berarti bahwa pada *burner* ini sebaiknya konfigurasi bukaan *butterfly* yaitu bukaan klep udara sekunder sebaiknya lebih besar dari bukaan klep udara primer, agar temperatur yang dicapai dapat maksimal.

BUKAAN KLEP	80-20	70-30	60-50	50-60
EQR 0,29	706,35 ⁰ C	730,87 ⁰ C	611 ⁰ C	568,83 ⁰ C
EQR 0,385	762,03 ⁰ C	696,74 ⁰ C	715,27 ⁰ C	536,62 ⁰ C
EQR 0,6	721,7 ⁰ C	693,53 ⁰ C	606,47 ⁰ C	582,52 ⁰ C
EQR 1,2	716,23 ⁰ C	793,6 ⁰ C	847,08 ⁰ C	616,73 ⁰ C

Tabel 4-1 Temperatur Rata-Rata pada Penampang Drum

Nilai temperatur rata-rata pada simulasi pada laporan akhir ini dapat dilihat pada tabel di atas. Nilai temperatur yang paling besar adalah temperatur ketika klep udara primer dibuka lebih besar dibandingkan klep udara sekunder. Dengan menggunakan bahan bakar *diesel* didapatkan nilai temperatur seperti tabel di atas. Nilai ini masih memungkinkan untuk jenis bahan bakar *diesel fuel*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Burner yang berguna untuk mengurangi *moisture* pada batu sebagai bahan dasar aspal ini membutuhkan temperatur yang tinggi. Dari hasil simulasi dengan berbagai kondisi yang telah dilakukan, hasilnya adalah terjadi perbedaan pada nilai temperatur dengan merubah nilai *equivalent ratio* dan bukaan klep udara pada *burner* meskipun menggunakan geometri yang sama. *Swirl* ganda yang ada pada *burner* ini pastinya juga mempengaruhi kemampuan *burner* ini untuk menghasilkan distribusi temperatur yang tinggi. Perlu diingat dalam *burner* ini bahwa aliran udara sekunder merupakan udara yang tidak bertemu langsung dengan bahan bakar solar, sehingga akan lebih berpengaruh apabila jumlah udara yang diberikan pada aliran udara primer lebih sedikit daripada jumlah udara pada aliran udara sekunder, sehingga tidak akan dihasilkan banyak udara sisa. Tujuan utama dari aliran udara sekunder adalah memberikan turbulensi akibat dari *swirl* yang ada sehingga bentuk api dari pembakaran menjadi terlihat lebih gemuk dan juga memberikan *excess air* untuk keperluan kiln. Karena dengan jumlah *vane* sebanyak 16 pada *swirl* aliran udara sekunder dan jumlah *vane* 12 pada *swirl* aliran udara primer, turbulensi yang terjadi akan semakin besar. Percampuran dengan bahan bakar solar ($C_{12}H_{29}$) tentunya juga membutuhkan jumlah udara yang besar karena untuk menghasilkan CO_2 sebagai hasil pembakaran maka O_2 yang dibutuhkan juga akan semakin besar.

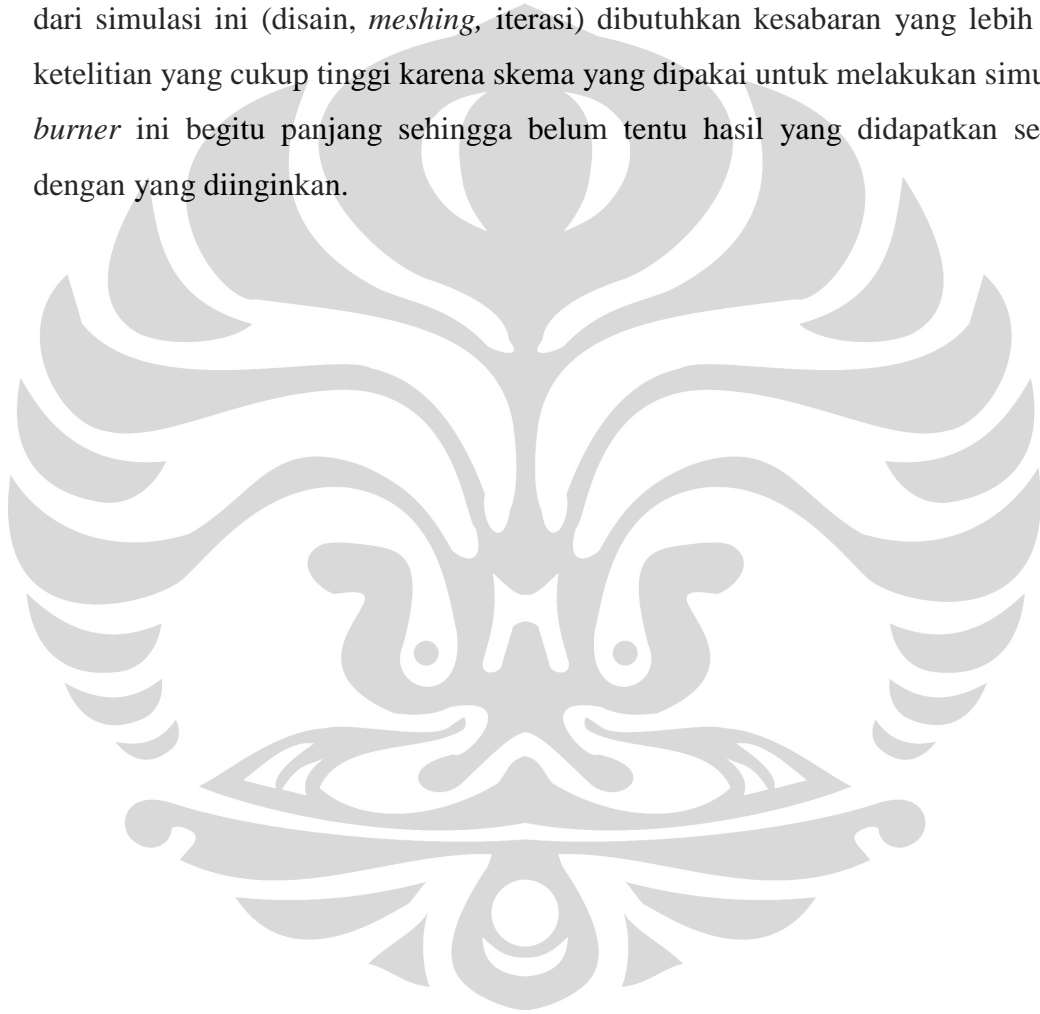
Hasil yang ditunjukkan dari simulasi ini adalah bahwa :

- 1) bukaan klep yang lebih baik adalah apabila bukaan klep udara sekunder lebih besar dibandingkan dengan bukaan klep udara primer.

- 2) Hasil *equivalent ratio* yang baik yaitu 1,2 karena pada nilai *equivalent ratio* 1,2. Ini menunjukkan semakin banyak bahan bakar maka semakin tinggi distribusi temperatur yang dihasilkan

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah di dalam setiap langkah dari simulasi ini (disain, *meshing*, iterasi) dibutuhkan kesabaran yang lebih dan ketelitian yang cukup tinggi karena skema yang dipakai untuk melakukan simulasi *burner* ini begitu panjang sehingga belum tentu hasil yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Prabowo, Adi Anggariawan. “*Simulasi Karakteristik Pembakaran Gas Hasil Gasifikasi Biomassa Pada Burner Dengan Variasi Jumlah Swirl Vane*”. DTM FTUI. (2010)
- [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] Lomax, Havard, Thomas H Pullian, David W Zingg. *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*.
- [5] Surjosatyo, Adi. SIMULASI PEMBAKARAN GAS HASIL GASIFIKASI BIOMASSA DI PREMIXED GAS BURNER DENGAN METODA 3D COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC. (2010)
- [6] http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/Asphalt_plant
- [7] <http://www.exp-ic.com/Asphalt-mixing-plant-introduction.html>
- [8] http://www.simetric.co.uk/si_liquids.htm
- [9] <http://www.freepatentsonline.com/4143972.pdf>
- [10] <http://www.pdhengineer.com/courses/en/EN-5006.pdf>