



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS TEMPERATUR "*FLAME SEAT RING*"
PADA FENOMENA "*LIFT-UP*" PEMBAKARAN NON-
DIFUSI**

TESIS

PRATOMO SETYADI

06 06 00 30 13

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI PASCA SARJANA TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2009

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS TEMPERATUR ”*FLAME SEAT RING*”
PADA FENOMENA ”*LIFT-UP*” PEMBAKARAN NON-
DIFUSI**

TESIS

**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

PRATOMO SETYADI

06 06 00 30 13

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA TEKNIK MESIN
DEPOK**

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun di rujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Pratomo Setyadi

NPM : 0606003013

Tanda tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2009

PERNYATAAN PUBLIKASI

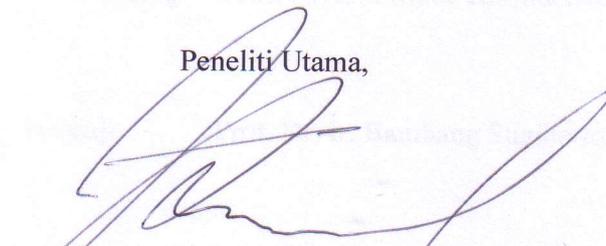
Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai “Fenomena *Lift-Up* pada Nyala Non-Difusi” dengan peneliti utama, yaitu :

Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing.

Penggunaan data dan informasi yang tercantum dalam skripsi ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan oleh peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Depok, Juni 2009

Peneliti Utama,



Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing.
NIP. 130 70 2237



Pratomo Setyadi
NPM. 0606003013

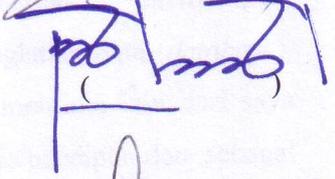
HALAMAN PENGESAHAN

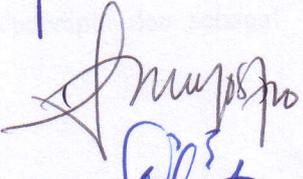
Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Pratomo Setyadi
NPM : 0606003013
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tesis : Analisis Temperatur "Flame Seat Ring" pada
Fenomena "Lift-Up" Pembakaran Non-Difusi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiharto, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo ()

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

Ditetapkan di :

Tanggal :

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Pratomo Setyadi
NPM : 0606003013
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Karya : Tesis

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:

Analisis Temperatur "*Flame Seat Ring*" pada Fenomena "*Lift-Up*"
Pembakaran Non-Difusi

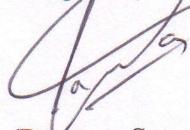
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan. Mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada Tanggal : 29 Juni 2009

Yang menyatakan



(Pratomo Setyadi)

vi

Universitas Indonesia

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan bimbingan-Nya sehingga thesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga tidak lupa ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak, antara lain :

1. Istri dan putri tercinta yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Prof. DR. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing. selaku pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan thesis ini, beserta istri beliau yang telah banyak memberikan dukungannya agar penulis tetap semangat untuk menyelesaikan thesis ini.
3. Seluruh karyawan DTM FTUI, antara lain : Mas Suryadi, Mas Syarif, Mba Yani, Bu Tina, dan yang lainnya yang telah banyak membantu penulis.
4. Rekan kerja di UNJ yang telah memberikan dukungannya agar penulis tetap semangat menyelesaikan thesis ini.
5. Bu Prapti, Bu Catur, , Pak Cahyo, Pak Dimitri, selaku tim *Flame and Combustion Laboratory* yang telah memberikan bantuan dan dukungannya selama penulis mengerjakan thesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan maupun pengumpulan dan pengolahan data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan untuk penulisan-penulisan selanjutnya. Semoga thesis ini bermanfaat bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Depok, Juni 2009

Penulis

Pratomo Setyadi

NPM. 0606003013

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Nama : Pratomo Setyadi
Program Studi : Pascasarjana Teknik Mesin
Judul : Analisis Temperatur "Flame Seat Ring"
pada Fenomena "Lift-Up" Pembakaran Non-Difusi

ABSTRAK

Salah satu cara untuk meningkatkan kestabilan nyala adalah penggunaan ring. Penelitian tentang ring penstabil nyala menemukan bahwa selain meningkatkan kestabilan nyala juga menurunkan kadar emisi NO_x [20]. Namun pada penelitian tersebut ring dipasang tepat dikeluarkan burner sehingga nyala tetap berpotensi mengganggu ketahanan burner. Dengan memasang ring pada jarak tertentu maka nyala akan berpindah ke ring dan menyala stabil di ring tersebut. Fenomena ini berbeda dengan lift-off dan disebut dengan *flame lift-up*. Analisa kestabilan nyala dan panjang nyala lift-up telah dilakukan.

Pengalihan nyala api dari ujung burner pada pembakaran premix menggunakan ring maupun pada pembakaran non-difusi memerlukan analisis temperatur ring. Hal ini di butuhkan untuk mengetahui adakah pengaruh hot spot pada fenomena lift-up pada pembakaran premix bunsen burner. Hubungan antara ketinggian ring dengan semakin tingginya temperature yang terjadi saat lift-up dengan AFR yang sama, memberikan petunjuk bahwa terjadi efek titik panas terhadap kejadian lift-up. Temperatur yang bertambah seiring bertambahnya letak ring, mengindikasikan temperatur sebagai akselerator kejadian lift-up. Hubungan antara temperature ring dengan persamaan panjang nyala menunjukkan bahwa semakin tinggi temperature, semakin besar nilai panjang nyala yang dihasilkan, dengan burning load yang sama. Panas yang hilang akibat konduksi dan radiasi ring terhadap campuran, jika sebanding dengan panas yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran, maka akan dapat menjaga kestabilan nyala, yang sesuai dengan tujuan pemasangan ring. Hasil simulasi CFD dan hasil pengukuran temperature menunjukkan kesesuaian, bahwa tidak ada api di daerah bawah ring, yang menunjukkan bahwa api berpindah secara keseluruhan.

Kata kunci : temperatur, lift-up, AFR

Nama : Pratomo Setyadi
Program Studi : Pascasarjana Teknik Mesin
Judul : Analisis Temperatur "Flame Seat Ring"
pada Fenomena "Lift-Up" Pembakaran Non-Difusi

ABSTRACT

A method of increasing flame stability is the usage of ring. The research of stabilizer ring found that beside stabilizing the flame, is also reduce the emission factor. But in that research the ring is placed exactly in the burner tip and potentially reduce the burner endurance. By placing the ring on a certain distance, the flame will jump of to the ring and lights stable on the ring. This phenomenon is different form the flame lift-off, and called as a lift-up flame.

The diversion of flame form burner tip to a ring on premix combustion, needed a study on the effects of ring temperatur to a lift-up phenomenon. This is done to get information is there any hot spot effects on a lift-up phenomenon. The relation between of ring heights and the rise of ring temperature gives a clue that the hotspot effects is occured. The rise of the temperature is indicating as accelerator of lift-up phenomenon. Higher ring temperature gives longer the flame length for the same burning load, based on the new equation. Ring will be functioned as a stabilizer when the heatlosses due to conduction and radiation are equal to the heat that generated during the combustion reaction. This result is verified by simulation using the CFD.

Keywords : temperature, lift-up, AFR, ring stabilizer

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI	iv
PENGESAHAN	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II DASAR TEORI PEMBAKARAN	6
2.1 FENOMENA LIFT-UP	6
2.2 MEDAN ALIRAN	11
2.3 KOMPUTASI	12
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 PERALATAN PENELITIAN	16
3.2 PENYESUAIAN SKALA ROTAMETER DAN TERMOKOPEL	20
Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009	

3.3 METODE PENGAMBILAN DATA	23
3.4 PROSEDUR PERCOBAAN	24
3.5 PROSEDUR SIMULASI	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
BAB V KESIMPULAN	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.5 Diagram stabilitas nyala	9
Gambar 2.7 Medan aliran resirkulasi	12
Gambar 3.1 Skema pengambilan data	16
Gambar 3.5.1 Gambar grid simulasi	26
Gambar 3.5.2 Gambar Cpanel Solver Fluent	27
Gambar 3.5.3 Gambar penentuan model viscous	27
Gambar 3.5.4 Gambar Cpanel persamaan energi	28
Gambar 3.5.5 Gambar Cpanel penentuan persamaan	28
Gambar 3.5.5 Gambar Cpanel penentuan zat reaktan	29
Gambar 3.5.7 Gambar Cpanel reaksi yang disimulasikan	30
Gambar 3.5.8 Gambar Cpanel penentuan nilai awal	30
Gambar 3.5.9 Gambar Cpanel penentuan kondisi simulasi	31
Gambar 4.1 Kontur kecepatan sumbu Y	33
Gambar 4.2 Kontur fraksi massa C ₃ H ₈	34
Gambar 4.3 Kontur fraksi massa O ₂	35
Gambar 4.4 Kontur laju reaksi turbulen	35
Gambar 4.5 Kontur temperature permukaan ring	36
Gambar 4.6 Kontur temperature total	37
Gambar 4.7 Kontur enthalphy total	37
Gambar 4.8 Kontur energi total	39
Gambar 4.9 Grafik T ring saat lift-up vs AFR	41

DAFTAR TABEL

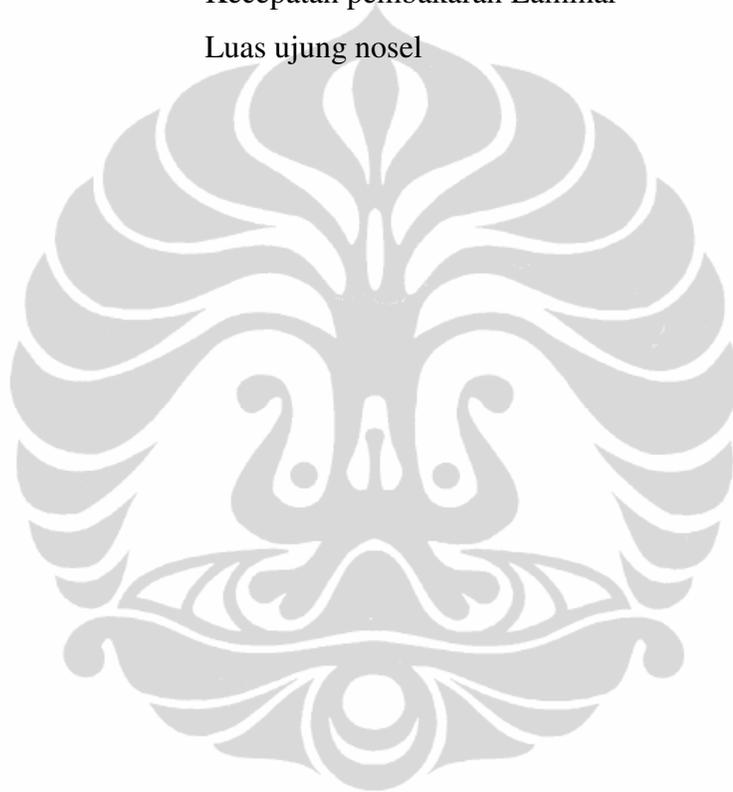
Tabel 2.1 Batas mampu nyala	15
Tabel 3.1 Tabel data percobaan	30
Tabel 4.1 Tabel debit udara dan propana	39
Tabel 4.2 Hasil pengukuran temperatur	40
Tabel 4.3 Perhitungan properti campuran X=10mm	70
Tabel 4.4 Perhitungan properti campuran X=20mm	71
Tabel 4.5 Perhitungan properti campuran X=30mm	72
Tabel 4.6 Tabel bilangan natural komponen persamaan Rokke	45



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
ρ_u	Massa jenis propana pada T_u	kg/m^3
C_p	Kapasitas panas spesifik propana pada tekanan konstan pada T_u	$\text{J/kg}^\circ\text{C}$
T_i	Temperatur nyala api	$^\circ\text{C}$
T_u	Temperatur pada awal <i>preheat zone</i>	$^\circ\text{C}$
α_s	<i>Thermal diffusivity</i> stoikiometri	m^2/s
η_o	Ketebalan <i>preheat zone</i>	m
v	Kecepatan aliran gas	m/s
δ	Sudut antara kecepatan pembakaran dengan kecepatan aliran gas	($^\circ$)
S_u	Kecepatan pembakaran	m/s
R	Radius Kurvatur api	m
Ka	Bilangan Karlovitz	(-)
x_u	Jarak titik unburned gas	m
x_i	Jarak T_i	m
d_1	Diameter nosel 1	m
d_2	Diameter nosel 2	m
r_{ff}	Jari-jari <i>flame front</i>	m
A_{ff}	Luas <i>flame front</i>	m^2
Q_f	Laju aliran volume bahan bakar gas	m^3/s
X_f	Ketinggian <i>lifted flame</i>	m
T_u	Temperatur <i>unburned gas</i>	$^\circ\text{C}$
T_i	Temperatur penyalaan	$^\circ\text{C}$
$(dT/dx)_i$	Gradien garis	(-)

Z	Jarak Pengukuran Temperatur	m
Φ	Rasio ekivalen	(-)
BL	<i>Burning load</i>	MW/m ²
ρ_f	Masa jenis bahan bakar gas	kg/m ³
LHV	Lower Heating Value	MJ/kg
A_b	Luas penampang barrel	m ²
S_L^0	Kecepatan pembakaran Laminar	m/s
A_2	Luas ujung nosel	m ²



BAB I PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Kajian tentang pembakaran sangat mempengaruhi kemajuan suatu industri terutama yang berkaitan langsung dengan pembakaran seperti industri pengecoran, pembangkit daya, transportasi serta industri lain yang mempergunakan ruang bakar atau tungku. Kajian eksperimental maupun kajian teoritis tentang pembakaran telah banyak dilakukan untuk lebih memahami fenomena pembakaran. Simulasi dengan berbagai macam metode numerik semakin banyak dilakukan didukung kemajuan di bidang teknologi informasi. Langkah-langkah tersebut pada dasarnya bertujuan untuk memperoleh metode baru pembakar bahan bakar secara lebih hemat, stabil, bersih dan ramah lingkungan.

Berbagai macam metode telah diteliti baik dari aspek kuantitas dan kualitas aliran campuran udara dan bahan maupun rekayasa peralatan pembakar. Dari aspek aliran campuran udara dan bahan bakar, salah satu metode untuk memperoleh pembakaran yang bersih adalah pembakaran pada kondisi campuran dengan nilai udara lebih (*excess air*) yang tinggi atau kaya oksigen atau miskin bahan bakar. Namun kondisi ini sangat mempengaruhi kestabilan nyala karena timbulnya fenomena mudah padam (*blow-off*). Fenomena pembakaran yang juga berhubungan dengan kestabilan nyala adalah fenomena *flashback* atau *backfire* dan *liftoff* yang telah banyak diteliti secara teoritis maupun eksperimental. Fenomena pembakaran dan parameter pembakaran yang lain seperti berbagai jenis *flame*, tinggi nyala, *flame stretching*, *recirculation zone*, *flammability limit*, beban pembakaran, energi minimum penyalaan dan lain sebagainya telah banyak dianalisa. Sedangkan dari aspek alat pembakarnya, untuk mencapai kestabilan nyala dilakukan penambahan peralatan burner seperti benda padat (*bluff-body*), penstabil nyala berupa ring, *flame holder* maupun pembangkit panas seperti *ignitors* dan *pilot flame*. Penelitian pemasangan *bluff-body* difokuskan pada terbentuknya aliran resirkulasi disekitar daerah nyala. Namun ada hal lain yang mempengaruhi kejadian *lift-up* selain resirkulasi aliran. Ada Analisis temperatur..., Prätomo Setyadi, FTUI, 2009

gaya lain yang mempengaruhi kejadian *lift-up* ini, yaitu perbedaan temperatur yang menyebabkan terjadinya perpindahan nyala api. Ada sebuah penelitian tentang pergeseren lintasan partikel dalam sebuah aliran yang dipengaruhi oleh perbedaan panas pada dua kutub. Untuk mengetahui adakah pengaruh perbedaan temperatur ini, maka dilakukan penelitian mengenai temperatur "*flame seat ring*". Untuk memastikan apakah *lift-up* ini merupakan terjadinya pindah nyala secara keseluruhan, maka dilakukan simulasi komputer menggunakan perangkat lunak *Fluent 6.2.1*. Dengan simulasi, diharapkan dapat tergambarkan reaksi yang terjadi dan distribusi temperatur di sekitar daerah reaksi.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Pengalihan nyala api dari ujung burner pada pembakaran premix menggunakan ring maupun pada pembakaran non premix atau difusi dengan fenomena *lifted flame* membutuhkan kajian pengaruh temperatur ring dan burner tip pada fenomena *lift-up*. Hal ini dibutuhkan untuk mengetahui adakah pengaruh *thermal drive potential* pada fenomena *lift-up* serta pengaruh temperatur pada panjang nyala pembakaran non-difusi pembakar bunsen.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mencari adanya pengaruh temperatur *flame seat* pada fenomena *flame lift-up* pembakaran non-difusi, dan pengaruhnya terhadap fenomena *lift-up* itu sendiri.

I.4 BATASAN MASALAH

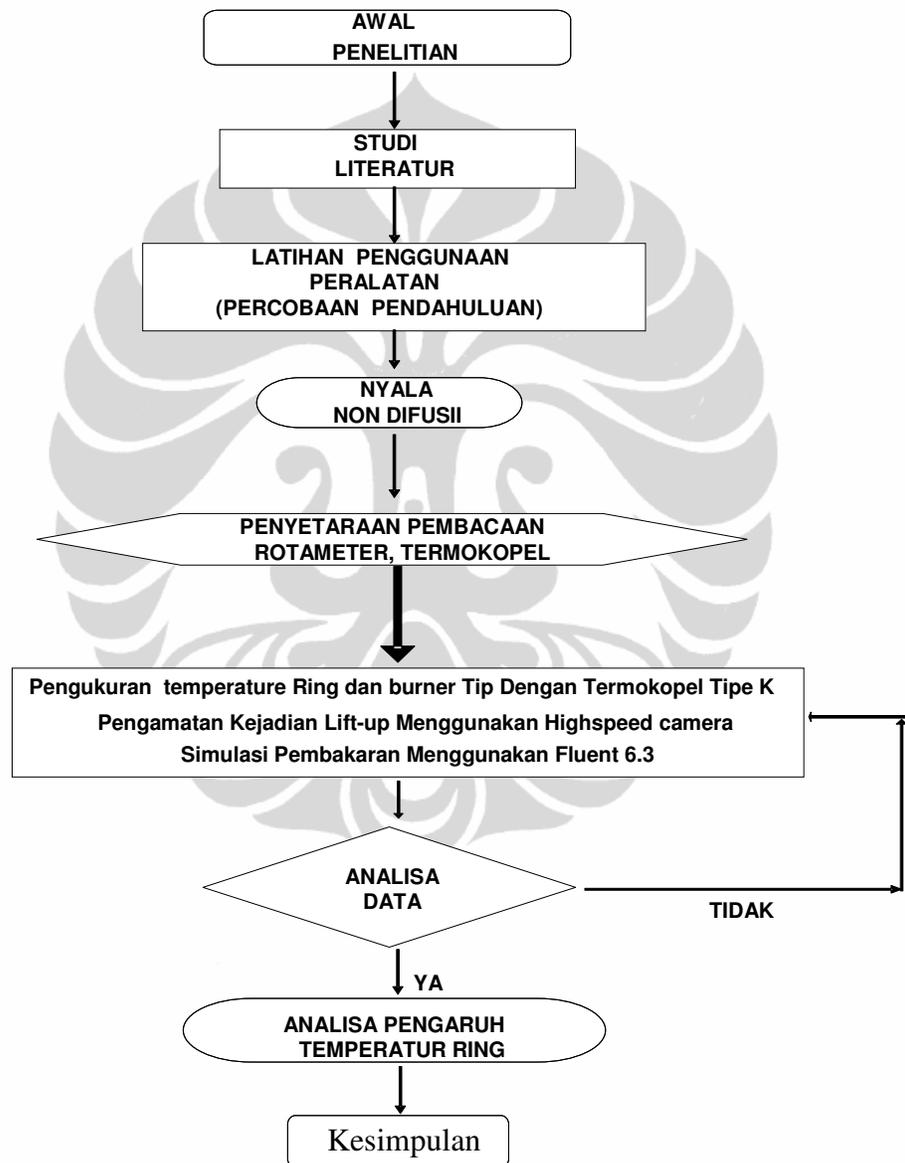
Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Thermodinamika Flame Combustion Research Group Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia menggunakan bahan bakar gas propana yang berasal dari sejenis refrigeran hidrokarbon yaitu Hycool HCR-22. Burner pada pembakaran premix berupa tabung dengan variasi panjang yakni 380 mm dan serta diameter tabung burner 14mm. Jenis material ring yang di gunakan adalah stainless steel AISI304 dengan diameter luar 30mm dan diameter dalam 10mm, dan ketebalan 5mm. Hasil percobaan dicocokkan dengan hasil simulasi Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

computer untuk membuktikan terjadinya lift-up adalah kejadian berpindahnyanya secara keseluruhan.

1. Alat pengukur temperatur Termokopel tipe-K dengan data logger Flukke.
2. Alat ukur laju aliran adalah *Flame Propagation and Stability Unit P.A. Hilton ltd C551* dan manometer udara/gas.
3. Pengukuran temperatur ambient dan humidity dilakukan dengan peralatan hygrometer analog
4. Fenomena yang diteliti adalah temperatur ring dan burner tip saat terjadi *lift-up* pada kondisi menggunakan *ring stainless steel* AISI 304
5. Simulasi reaksi pembakaran menggunakan Fluent 6.3 untuk melihat prediksi reaksi pembakaran dan temperature di sekitar *flame seat ring*. Pada eksperimen, temperature cincin tidak dikondisikan terlebih dahulu.
6. Tidak mengukur laju reaksi serta perambatannya, komposisi gas hasil pembakaran.
7. Tidak meneliti apa yang terjadi di ruang pencampuran.
8. Perbedaan tekanan udara dan bahan bakar antara sebelum masuk mixer dan sesudah mixer dianggap sangat kecil, sehingga tekanannya dianggap sama.

I.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah secara eksperimental yang didahului dengan kajian pustaka tentang berbagai jenis phenomena pembakaran dan metode pengukuran temperatur nyala api. Sebelum dipergunakan, gas propana diuji komposisi serta sifat-sifatnya seperti nilai kalor, viskositas dan massa jenisnya. Pengukuran temperatur ring dan burner menggunakan termokopel type-K dan disimulasikan menggunakan *Fluent 6.3*. Secara skematik, metode penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Bab 1 Pendahuluan.

Pada bab ini akan menguraikan latar belakang penelitian, tujuan penelitian, metode penelitian yang digunakan, batasan masalah dalam penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan untuk mencapai tujuan.

Bab 2 Dasar Teori.

Bab ini menguraikan tentang teori dasar tentang Karakteristik nyala , Lift-up, dan Komputasi.

Bab 3 Metodologi Penelitian.

Pada bab ini menguraikan tentang proses penelitian yang dilakukan, kajian pustaka tentang berbagai jenis fenomena pembakaran, persamaan teoritis, penyetaraan alat ukur , penyediaan kelengkapan peralatan, pengambilan data , simulasi komputer, dan penyusunan laporan dan analisa.

Bab 4 Data dan Pembahasan

Bab 5 Kesimpulan

BAB II DASAR TEORI PEMBAKARAN

II.1. FENOMENA LIFT-UP

Lift-up didefinisikan sebagai kejadian terangkatnya nyala api secara keseluruhan yang berpindah dari tepi tabung pembakar menuju ke “*flame seat ring*”. *Lift-up* terjadi pada nilai rasio udara bahan bakar tertentu. Pada jumlah bahan bakar yang banyak, berarti jumlah udara yang diperlukan semakin banyak, namun hal ini menyebabkan kecepatan campuran menjadi lebih besar daripada kecepatan nyala, sehingga menyebabkan terjadinya padam (*blow-off*).

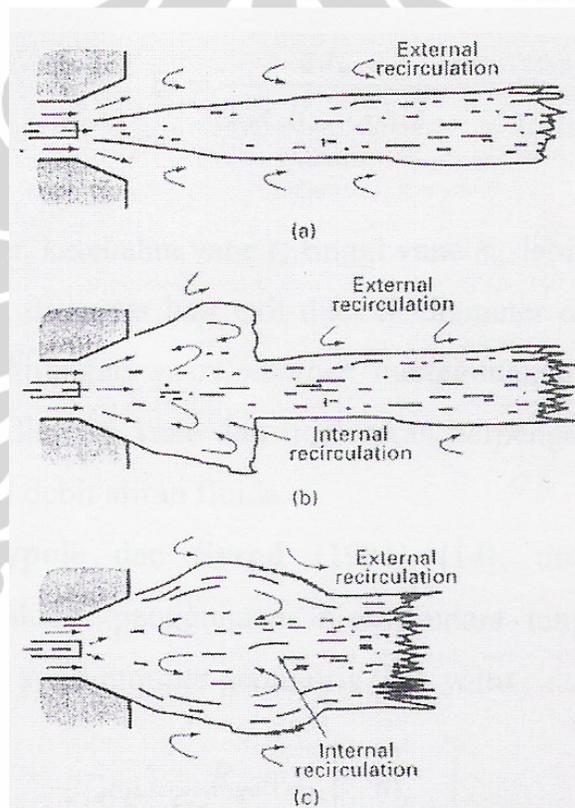
Dengan penambahan “*flame seat ring*” maka akan timbul daerah resirkulasi aliran akibat pemecahan laju aliran. Pemecahan laju aliran ini menimbulkan pusaran dan aliran balik di sekitar daerah permukaan atas ring. Aliran balik inilah yang menghambat sekaligus menekan nyala api sehingga berpindah ke atas ring dan berbentuk tulip. Dengan adanya aliran balik, kecepatan aliran campuran bahan bakar terjaga lebih rendah atau sama dengan kecepatan nyala.

II.2. MEDAN ALIRAN

Aspek utama perancangan burner dalam hubungannya dengan nyala adalah stabilitas nyala. Salah satu metode unik untuk memperluas daerah kestabilan nyala adalah dengan memasang ring pada ujung keluaran burner. Pada eksperimen yang dilakukan di Lawrence Berkeley National Laboratory Amerika diperoleh bahwa daerah nyala akan lebih luas dengan semakin mengecilnya diameter luar ring. Peningkatan celah antara diameter luar ring dengan diameter dalam tabung juga meningkatkan ketahanan terhadap fenomena *blowoff* dan *flashback*. Hal ini diduga karena adanya daerah resirkulasi di dalam daerah gelap. Penggunaan ring ini juga merubah tinggi nyala premix yang dipengaruhi oleh daerah resirkulasi. Daerah resirkulasi menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dan arah partikel gas yang belum terbakar.

Selain kestabilan nyala, pembahasan tentang daerah sirkulasi atau *recirculation zone* telah menjadi pusat perhatian pula pada perkembangan teknik pembakaran dewasa ini. Banyak penelitian telah dilakukan baik mengenai simulasi aliran fluida, maupun percobaan di laboratorium. Umumnya daerah resirkulasi pada proses pembakaran sengaja dibuat dengan memasang *bluff-body*.

Penelitian tentang fenomena aliran melewati suatu *bluff-body* juga telah diawali sejak tahun 70-an. Pembahasannya masih terpusat pada aspek mekanikafluidanya saja yakni pada aspek turbulensi aliran fluida.



Gambar 2.7 Daerah Resirkulasi

II.3. KOMPUTASI

Aliran yang terjadi pada pembakar gas bunsen merupakan aliran turbulen. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan software *solidworks*, *gambit* dan *fluent*. *Solidworks* digunakan untuk menggambar domain dari semburan gas pembakar bunsen, *Gambit* digunakan untuk mencacah dan menentukan domain

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

aliran sedangkan *Fluent* digunakan untuk menghitung apa yang terjadi di gas burner. Mesh yang dapat dilakukan oleh gambit ada beberapa macam, antara 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 *premixed*, bahan bakar dan oksidator memasuki zona reaksi dalam keadaan tercampur dalam format mixture, dengan komposisi fraksi massa yang ditentukan. Di dalam melakukan simulasi *premixed* 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 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*. 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.

Energi kinetik dari turbulensi dan laju disipasi atau ε , didapatkan dari beberapa persamaan transpor berikut:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M$$

dan

$$\begin{aligned} \rho \frac{D\epsilon}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] \\ &+ C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Pada persamaan ini , G_k mewakili pembentukan energy kinetic turbulen berdasarkan kenaikan rata-rata kecepatan. G_b adalah pembentukan energy kinetik turbulen berdasarkan buoyancy. Y_M mewakili kontribusi dilatasi yang berfluktuasi pada turbulensi yang dapat terkompresi. $C_1 \epsilon$, $C_2 \epsilon$, and $C_3 \epsilon$ adalah konstanta.

Dalam komputasi, persamaan reaksi yang dipakai adalah persamaan Arrhenius yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\sum_{i'=1}^N \nu'_{i',k} M_{i'} \xrightleftharpoons[k_{b,k}]{k_{f,k}} \sum_{i'=1}^N \nu''_{i',k} M_{i'}$$

dimana

N	=	jumlah zat yang bereaksi
$\nu'_{i',k}$	=	koef stokiometrik dari reaktan i' dalam reaksi k
$\nu''_{i',k}$	=	koef stokiometrik produk i' dalam reaksi k
$M_{i'}$	=	symbol yang menyatakan zat i'
$k_{f,k}$	=	konstanta laju reaksi maju untuk reaksi k
$k_{b,k}$	=	konstanta laju reaksi mundur untuk reaksi k

Persamaan diatas berlaku untuk reaksi yang dapat dibalik maupun tidak dapat di balik., namun di dalam Fluent dianggap tidak dapat dibalik secara standar, sehingga $k_{b,k}$ dapat diabaikan.

Laju molar pembentukan/penghancuran zat i^{\wedge} pada reaksi k ($\hat{R}_{i^{\wedge},k}$ pada persamaan laju reaksi, ditentukan oleh persamaan:

$$\hat{R}_{i^{\wedge},k} = \Gamma \left(\nu_{i^{\wedge},k}'' - \nu_{i^{\wedge},k}' \right) \left(k_{f,k} \prod_{j'=1}^N [C_{j'}]^{n_{j',k}'} - k_{b,k} \prod_{j'=1}^N [C_{j'}]^{n_{j',k}''} \right)$$

dimana

$C_{j^{\wedge}}$ = konsentrasi molar setiap reaktan atau produk j^{\wedge}
(kmol/m^3)

$h^{\wedge}_{j^{\wedge},k}$ = laju eksponen reaktan j^{\wedge} dalam reaksi k

$h^{\wedge}{}''_{j^{\wedge},k}$ = laju eksponen produk j^{\wedge} dalam reaksi k

dan Γ mewakili pengaruh zat/benda ketiga pada laju reaksi, yang dinyatakan dalam :

$$\Gamma = \sum_{j'}^N \gamma_{j',k} C_{j'}$$

dimana $c_{j^{\wedge},k}$ adalah efisiensi benda ketiga dari zat j^{\wedge} th Secara standar FLUENT tidak memasukkan pengaruh benda ketiga pada perhitungan laju reaksi.

Konstanta laju reaksi maju pada reaksi k , $k_{f,k}$, dihitung menggunakan persamaan Arrhenius :

$$k_{f,k} = A_k T^{\beta_k} \exp(-E_k/RT)$$

dimana

A_k = faktor *pre-exponential*

b_k = eksponen temperature (tidak berdimensi)

E_k = energy aktivasi reaksi (J/kmol)

R = konstanta gas (J/kmol-K)

Jika reaksinya dapat dibalik, maka laju reaksi mundur nya dihitung dari laju reaksi maju menggunakan rumus:

$$k_{b,k} = \frac{k_{f,k}}{K_k}$$

dimana K_k adalah konstanta equilibrium untuk reaksi k yang dihitung dengan persamaan:

$$K_k = \exp \left(\frac{\Delta S_k^0}{R} - \frac{\Delta H_k^0}{RT} \right) \left(\frac{p}{RT} \right)^{\sum_{k=1}^{N_R} \eta_{j',k}'}$$

Dimana eksponen nya mewakili perubahan dari persamaan energy bebas GIBBS dan komponen nya dihitung lewat persamaan :

$$\frac{\Delta S_k^0}{R} = \sum_{i'=1}^N \left(\nu_{i',k}'' - \nu_{i',k}' \right) \frac{S_{i'}^0}{R}$$

$$\frac{\Delta H_k^0}{RT} = \sum_{i'=1}^N \left(\nu_{i',k}'' - \nu_{i',k}' \right) \frac{h_{i'}^0}{RT}$$

dimana $S_{i'}^0$ and $h_{i'}^0$ adalah keadaan standar entropi dan keadaan standar enthalphy (energi pembentukan), yang ditentukan FLUENT dalam property campuran materi.

BAB III METODE PENELITIAN

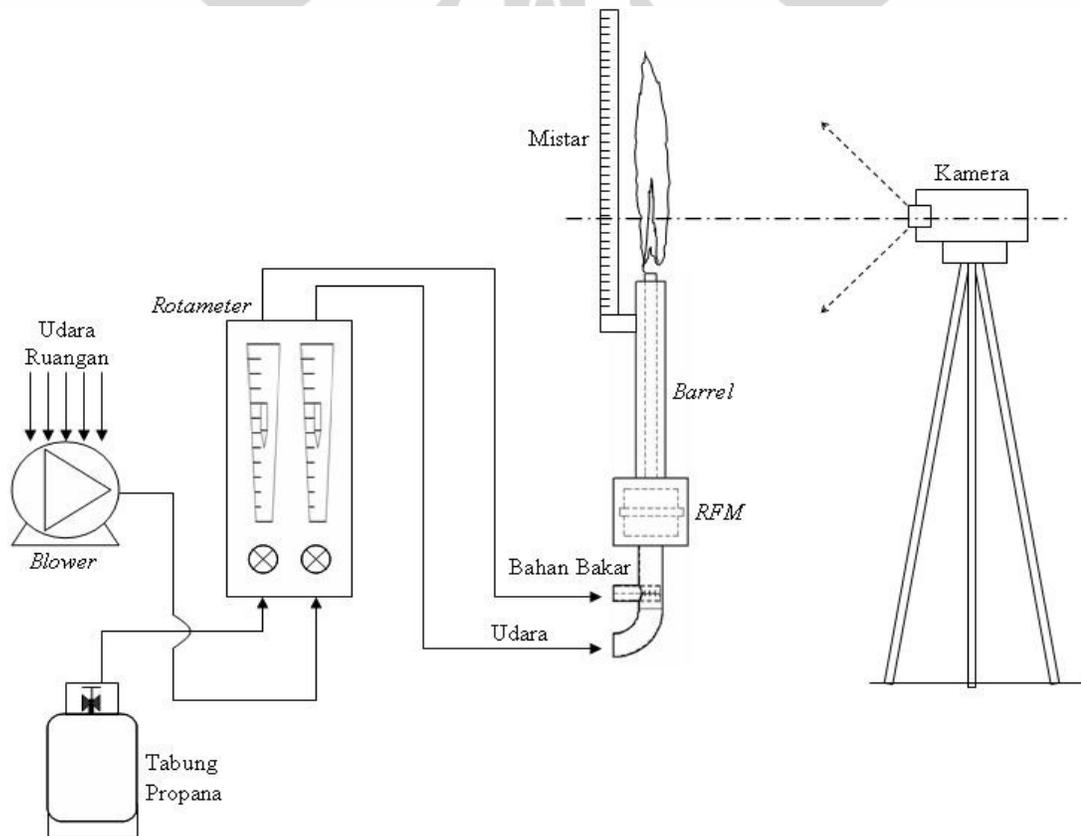
III.1 PERALATAN PENELITIAN

III.1.1 *Bunsen Burner*

Ruang pencampur (*mixer*) pada alat *Bunsen burner Flame Propagation and Stability Unit P.A. Hilton Ltd C551* ada tiga jenis yaitu:

1. *Mixer* Standar
2. *Mixer* Tangensial dengan dimensi:
 - i. sisi-sisinya 90 mm dan tinggi 110 mm
3. *Rotating Fan Mixer* (RFM) dengan dimensi:
 - ii. sisi-sisinya 92 mm dan tinggi 86 mm

Adapun yang dipakai pada penelitian ini yaitu *mixer* jenis RFM (*Rotating Fan Mixer*) yang menggunakan *fan* untuk memperoleh pencampuran udara dan bahan bakar lebih baik.



Gambar 3.1 Skema Pengambilan Data

III.1.2. High Speed Camera

High Speed kamera berkecepatan 32000fps, menggunakan lensa Nikon 60mm/2.8 dengan software VitCam 1.5.9 untuk menangkap video dan gambar dari proses terjadinya lift-up.

III.1.3 Tabung Pembakar (*Barrel*)

Tabung pembakar yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter 14 mm dan panjang 385 mm serta dilengkapi dengan tabung saluran nitrogen.

III.1.4 *Fuel Gas*

Alat *Bunsen burner Flame Propagation and Stability Unit P.A. Hilton Ltd C551* didesain untuk pemakaian gas sebagai berikut:

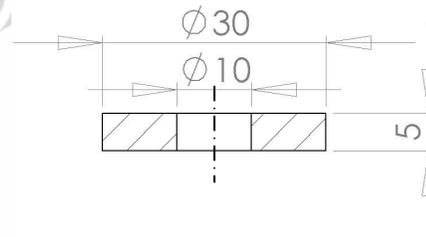
1. Gas Propana
2. LPG (*Liquidified Petroleum Gas*)
3. Gas Metana (Gas Alam)
4. Gas Industri (Gas Kota)

Gas yang di gunakan pada penelitian ini yaitu gas propana *Hycool HCR-22*

III.1.5 *Ring Stabilizer*

Ring Stabilizer yang digunakan yaitu ring dengan material *stainless steel* AISI 304 dan ring keramik dengan dimensi:

- (Rasio $\frac{Dir}{Db} = 1$):
- Diameter luar (Dor) = 30 mm
- Diameter dalam (Dir) = 10 mm
- Tebal (t) = 5 mm



III.1.6 Peralatan Pendukung

1. *Pressure Regulator*, alat pengatur tekanan gas yang masuk ke dalam rotameter dan dibatasi sebesar 2 bar.
2. Pematik api gas sistem magnet.
3. *Ring Adjuster* untuk mengatur ketinggian ring yang dilengkapi dengan mistar.
4. Mistar baja untuk pengukuran tinggi nyala api *premix*.

Analisis temperatur..., Pratorno Setyadi, FTUI, 2009

5. Kamera digital untuk pengambilan gambar fenomena nyala api.
6. *Hygrometer* untuk mengukur temperatur dan juga RH ruangan saat pengambilan data.

III.2 PENYESUAIAN SKALA *ROTAMETER* DAN TERMOKOPEL [1]

Rotameter yang terdapat pada unit P.A. Hilton memiliki skala baca dalam cm yang dapat dibaca langsung dalam percobaan, tetapi dalam pengolahan data, ukuran dalam cm tersebut harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi satuan kapasitas aliran dalam l/s .

Sedangkan untuk suplai aliran udara digunakan alat manometer udara. Nilai yang akan disesuaikan adalah nilai *back pressure* dan ΔH sebagai penanda banyaknya jumlah aliran udara yang disuplai ke burner.

Alat yang digunakan untuk penyesuaian skala *rotameter* dan manometer ini adalah *Type-WE-25A Wet Gas Meter*. Alat ini memiliki temperatur maksimum 60°C dan tekanan maksimum $1000\text{ mmH}_2\text{O}$. *Wet Gas Meter* ini memiliki volume 5 L, jadi jika jarum besar melakukan satu putaran maka telah mengalirkan 5 L cairan pengisi. Laju aliran gas yang diukur dapat diketahui dengan mencatat waktu tempuh aliran gas tersebut dalam melakukan satu putaran atau sebesar 5 L.

III.2.1 Posedur persiapan *Wet Gas Meter* [1]

Pemasangan

Letakkan *Wet Gas Meter* pada tempat yang rata dan bebas dari getaran. Kemudian putar baut pengatur level ketinggian yang terletak di bawah alat sampai tabung level menunjukkan bahwa *Wet Gas Meter* terletak pada bidang horizontal.

Pengaturan *liquid level*

1. Pengisian cairan

Lepaskan tutup *liquid inlet* di kanan atas kalibrator (bagian depan). Masukkan cairan sampai *liquid level* mencapai sekitar 2 mm di atas garis penunjuk *level gauge* atau *setting needle point*.



Gambar 3.5 Level air pada Wet Gas Meter [1]

2. Pengeringan *Blower Pipe*

Lepaskan tutup *blower pipe drain*, dan periksa jika ada cairan yang tersisa. Cairan yang tersisa akan menyebabkan kalibrator tidak bisa bekerja. Jika cairan tersisa di dalam *blower pipe*, maka keringkan *blower pipe* dan kencangkan tutupnya.

3. Idling

Kencangkan tutup *liquid inlet*. Atur *inlet rubber tube*, dan diamkan kalibrator sehingga jarum besar membuat 20-30 putaran. Setelah *idling* selesai, biarkan bagian dalam kalibrator berada di bawah tekanan atmosfer dengan mencopot *inlet* dan *outlet rubber tube*. Keluarkan cairan dengan perlahan melalui *level control knob* pada sisi kanan panel kalibrator, sampai *liquid level* sejajar dengan garis penunjuk *level gauge* atau *setting needle point* seperti pada gambar.

Pengetesan kebocoran

Hubungkan dan kencangkan *inlet* dan *outlet rubber tube* ke kalibrator. Tutup kencang bagian luar. Berikan tekanan (pada batas pengukuran *manometer*) pada *Wet Gas Meter* melalui inlet. Tutup rapat bagian dalam. Periksa kebocoran dengan membaca *manometer*.

Pengukuran

Hubungkan *inlet* dan *outlet tube* sesuai kebutuhan untuk pengukuran. Biarkan gas diukur mengalir melalui meteran sampai jarum besar membuat kira-kira 20 putaran. Udara yang tertinggal dalam *Wet Gas Meter* dan pipa akan digantikan oleh gas tersebut. Saat gas dan cairan berbeda jauh temperaturnya, diamkan *Wet Gas Meter* sampai mencapai temperatur yang sama. Setelah langkah-langkah tersebut selesai, *Wet Gas Meter* siap untuk pengukuran.

Pengoperasian tekanan dan temperatur

Wet Gas Meter harus dioperasikan pada tekanan kisaran *manometer*, meskipun *Wet Gas Meter* dibuat untuk menahan tekanan sampai $0,15 \text{ kg/cm}^3$ ($1500 \text{ mm H}_2\text{O}$).

Temperatur operasi sebesar $50 \text{ }^\circ\text{C}$ atau di bawahnya. Ketika gas yang diukur tidak lebih dari $0 \text{ }^\circ\text{C}$ atau gas yang tingkat kelarutan dengan airnya tinggi, gunakan cairan *paraffin*, *electrospark machining oil* atau *trifluorine-contained polymers* dibandingkan dengan air.

Gas yang dapat diukur

Casing Wet Gas Meter (tipe standar) terbuat dari *galvanized iron sheet* yang dilapisi dengan cat *epoxy*. Tabung dan *machined parts* terbuat dari kuningan (BsBM2) dan dibentuk dengan metode *brazing*. *Packing* terbuat dari karet sintesis (*nitrile rubber*). Dengan mempertimbangkan material-material yang disebutkan, gas-gas yang dapat mempengaruhi material tersebut tidak dapat diukur.

Wet Gas Meter dapat digunakan untuk pengukuran gas kota, gas alam, gas naphtan, gas hidrokarbon jenuh, karbondioksida, gas nitrogen, gas hidrogen, udara, helium atau *inert gas* lainnya. Gas aktif seperti gas amonia dan gas *acetylene* membutuhkan meteran khusus.

Pengeringan

Untuk mengeringkan *Wet Gas Meter*, lepaskan tutup saluran pembuangan dan balikkan *Wet Gas Meter* sampai cairan di dalam tabung keluar. Pastikan *Wet Gas Meter* kering seluruhnya.

III.2.2 Langkah-langkah Penyesuaian Skala Rotameter [1]

III.2.2.1 Penyesuaian skala untuk Gas Propana

1. Menyambungkan selang gas propana pada *gas inlet* pada *Wet Gas Meter*.
2. Mengatur laju aliran gas pada posisi *rotameter* 1 cm sehingga jarum *Wet Gas Meter* mulai berputar.
3. Menentukan satu titik acuan sebagai start pada skala *Wet Gas Meter*.
4. Mencatat waktu yang diperlukan jarum *Wet Gas Meter* dari titik tersebut sampai kembali ke titik itu lagi.

- Mengulangi langkah 2 sampai 4 untuk laju aliran gas yang berbeda dengan increment 1 cm (1 cm, 2cm, 3cm, dst).

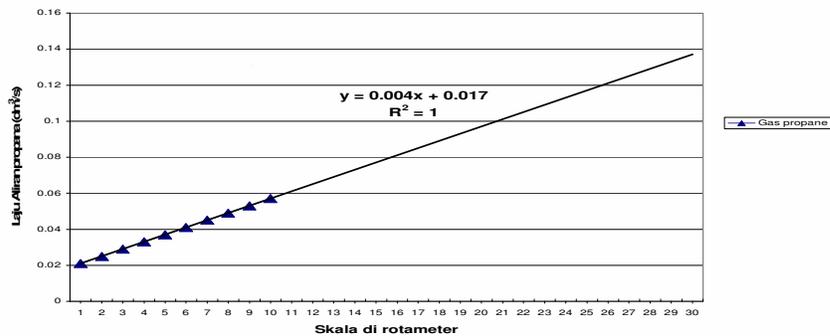


Gambar 3.6 Prosedur Penyesuaian Skala *Rotameter* [1]

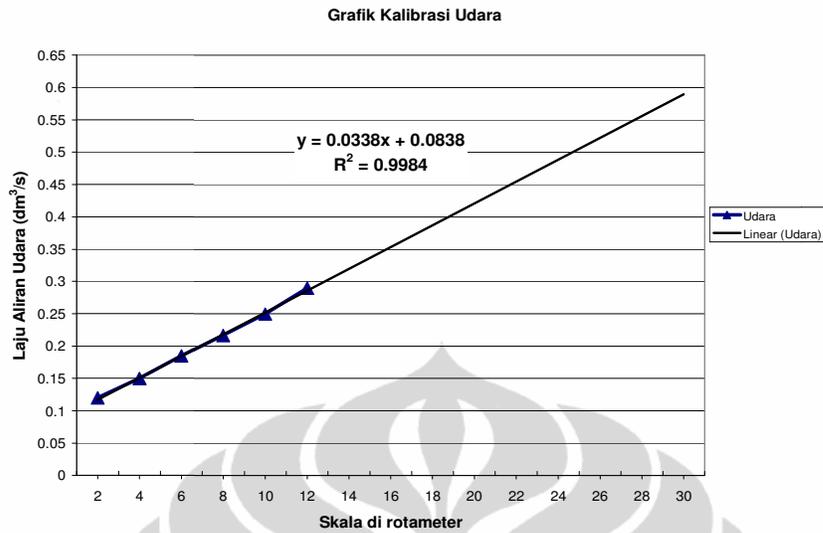
III.2.2.2 Penyesuaian Skala Untuk Udara

- Menyambungkan selang udara pada *gas inlet* pada *Wet Gas Meter*.
- Alirkan udara dari kompresor melewati rotameter,
- Menentukan satu titik acuan sebagai start pada skala *Wet Gas Meter*.
- Mencatat waktu yang diperlukan jarum *Wet Gas Meter* dari titik tersebut sampai kembali ke titik itu lagi.

III.2.3.1 Grafik Penyesuaian Skala Untuk Propana



Grafik 3.1 Penyesuaian Skala Untuk Propana [1]

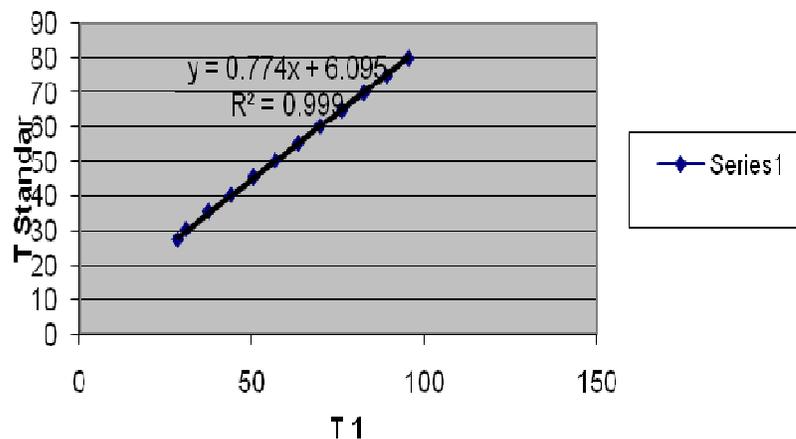


Grafik 3.2. Grafik penyetaraan laju aliran udara [1]

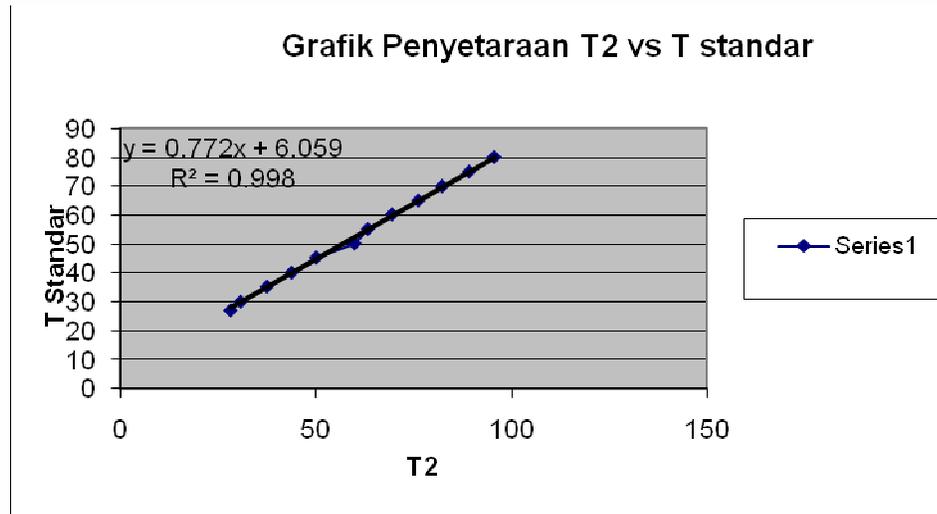
III.2.3 Penyetaraan Termokopel tipe-K dengan thermometer standar.

Penyetaraan hasil pengukuran termokopel dilakukan dengan mengukur temperatur air pada beberapa variasi. Termokopel tipe-K bersamaan dengan thermometer standar dicelupkan kedalam air yang di panaskan, kemudian hasil pembacaan termokopel dibuat penyetaraannya dengan hasil pembacaan thermometer.

Grafik Penyetaraan T1 vs T standar



Grafik 3.3 Grafik penyetaraan termokopel T ring



Grafik 3.4 Grafik penyetaraan termokopel T burner tip

III.3 METODE PENGAMBILAN DATA

Penelitian yang dilakukan ini adalah dengan kondisi penggunaan ring yang diletakkan di atas burner dengan adanya jarak diantara burner dan ring. Dalam pengambilan data, yang menjadi parameter yang dicari (variable bebas) adalah indikator udara yang didapat di manometer, tinggi nyala api premix dari mulut tabung pembakar (*barrel tip*), suhu ring ketika terjadinya *lift up*. Untuk variable tetap dari penelitian ini adalah indikator gas bahan bakar (propane).

Dalam pengukuran suhu ring, besaran yang digunakan adalah $^{\circ}\text{C}$. Penelitian ini menetapkan nilai aliran dari gas adalah sebesar 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Penempatan posisi ring adalah pada ketinggian 10 mm, 20 mm, 30 mm, diatas *barrel tip*. Aliran udara dicatat pada saat terjadinya fenomena *lift-up flame*, dan diukur tinggi nyala api *premix* dari *barrel tip*. Dari setiap ketinggian ring dan variasi bahan bakar, diambil video dan gambar proses terjadinya lift-up menggunakan *highspeed camera*. Simulasi CFD dilakukan pada model Bunsen dengan ring X=1cm, dengan fraksi massa propane 0.039 dan kecepatan campuran 4.9 m/s

III.4 PROSEDUR PERCOBAAN

III.4.1 Persiapan Awal Peralatan Uji

1. Mempersiapkan peralatan yang akan diperlukan dalam melakukan pengujian seperti *Bunsen burner*, tabung gas, pematik api gas, ring, *ring adjuster*, dan lainnya.
2. Mengatur posisi *rotameter* gas pada posisi nol.
3. Memastikan tidak ada kebocoran.
4. Mengatur manometer pada posisi nol.
5. Memasang *barrel*, selang bahan bakar, selang udara pada *mixer*.
6. Meletakkan *ring adjuster* pada posisi dekat dengan *Bunsen burner*.

III.4.2 Pengukuran *Temperatur ring dan burner tip saat lift-up* dengan menggunakan ring

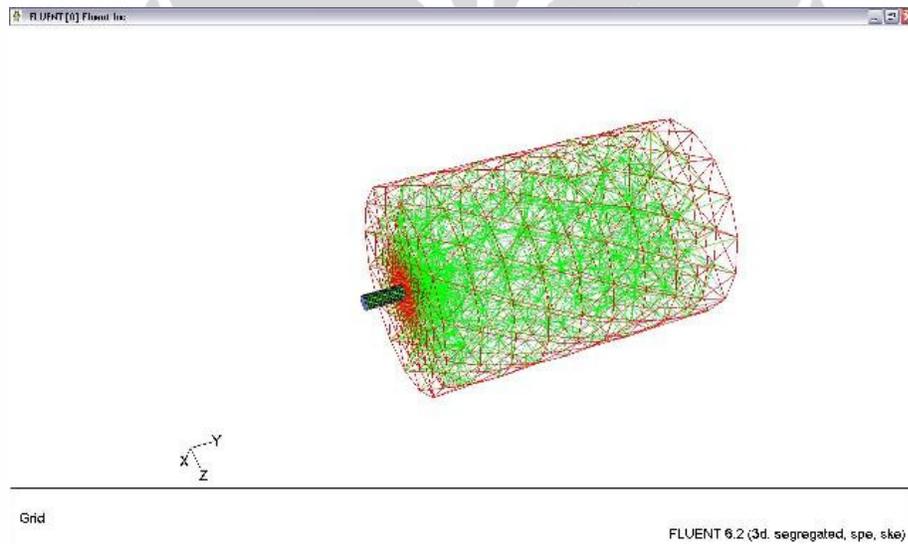
1. Memasang ring pada *ring adjuster* dengan diameter dalam 10 mm, diameter luar 30 mm dan tebal 5 mm diletakkan konsentris dengan mulut *barrel* pada jarak 10 mm di atas mulut *barrel*.
2. Membuka katup udara pada manometer sedikit dan membuka katup gas, kemudian menyalakan dengan menggunakan pematik.
3. Mengatur laju aliran gas pada posisi *rotameter* 0,5 cm sehingga gas mengalir melalui tabung.
4. Menambah laju aliran udara secara perlahan-lahan sampai terbentuk nyala api biru yang sangat terang.
5. Menaikkan laju aliran udara lebih lanjut secara perlahan-lahan hingga sebagian nyala sedikit terangkat dari mulut *barrel* dan kemudian nyala api akan mulai terangkat seluruhnya ke atas ring (*lift-up*) dan pada kondisi ini mencatat besar laju aliran udara pada *manometer*.
6. Menutup aliran udara.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 6 untuk laju aliran gas yang berbeda (0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm).
8. Mengulangi langkah 1 sampai 7 untuk ketinggian ring yang berbeda (10 mm, 20 mm, 30 mm,).

III. 5. Prosedur Simulasi

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

3.5.1 Grid

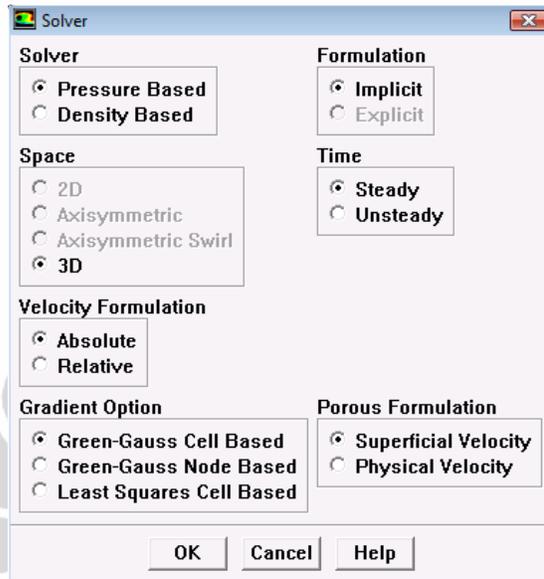
1. **File>read>case** Konstruksi yang telah dibuat di solidwork dan mesh yang telah dibuat di gambit akan dibaca di fluent dengan ekstensi .msh .
2. Mengecek grid **grid>check** untuk memeriksa minimum dan maksimum dari nilai x dan y dari grid.
3. Menskalakan grid **grid>scale** pilih unit mm agar sesuai konstruksi awal
4. Menampilkan grid **display >grid**



Gambar 3.5.1

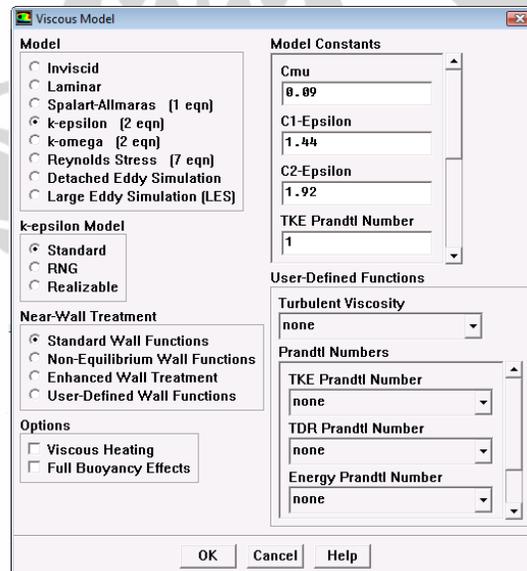
3.5.2 Models

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



Gambar 3.5.2

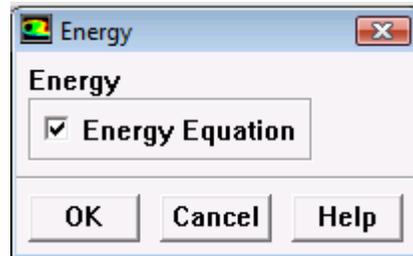
2. Mengaktifkan model turbulensi $k-\epsilon$ **define>models>viscous**



Gambar 3.5.3

3. Mengaktifkan perpindahan panas untuk mengaktifkan persamaan energy.

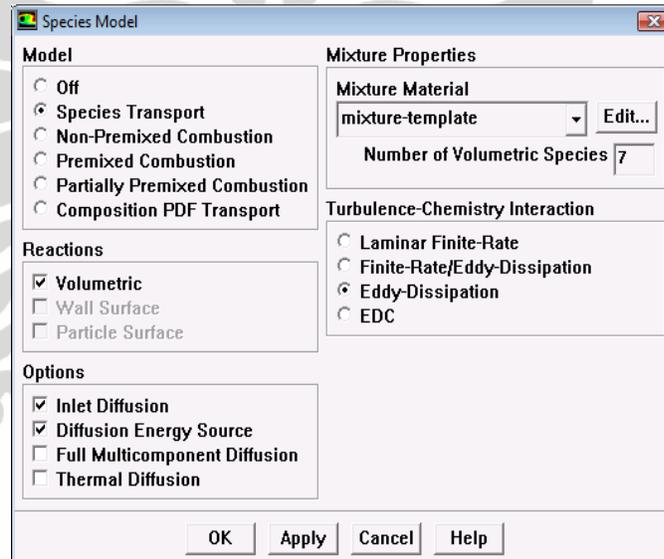
Define>models>energy



Gambar 3.5.4

4. Mengaktifkan spesies kimia reaksi dan perpindahan

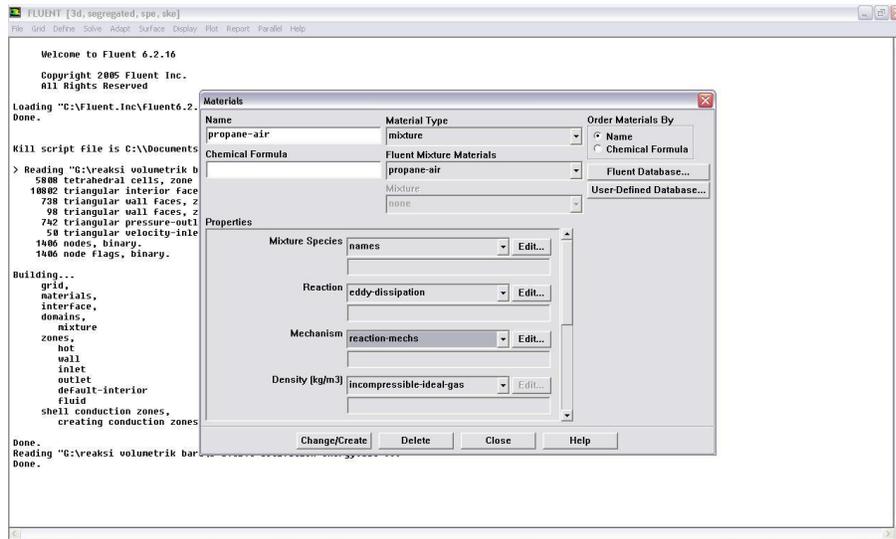
Define>models>species



Gambar 3.5.5

3.5.3 Materials

Define>materials



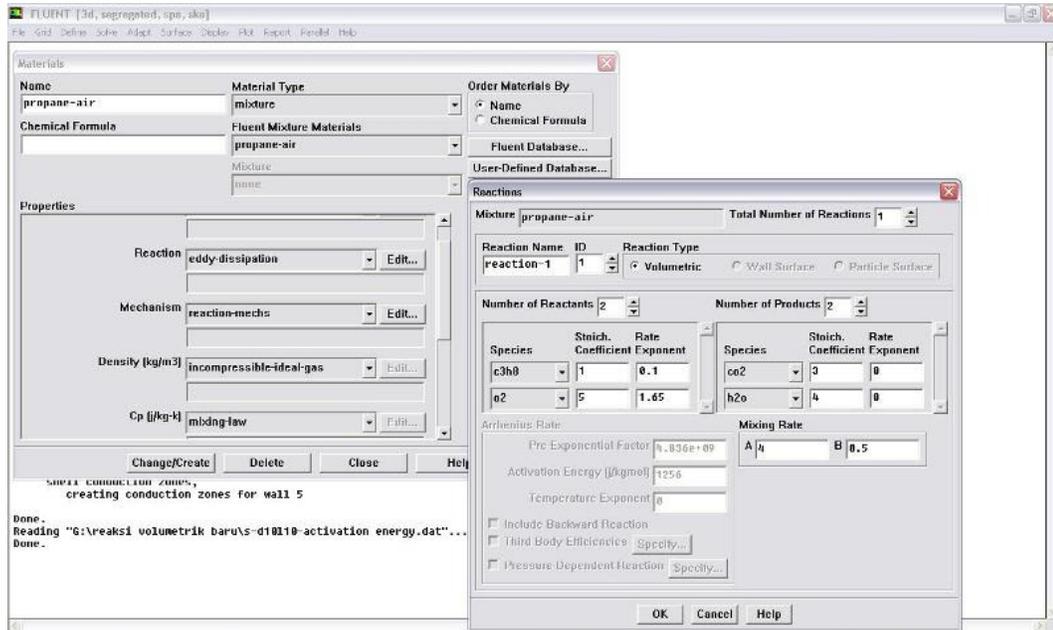
Gambar 3.5.6

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. C₃H₈

- a. Density (kg/m^3) 1225
- b. Cp (J/kgK) 1549
- c. Viscosity (kg/ms) $1,789 \cdot 10^{-5}$

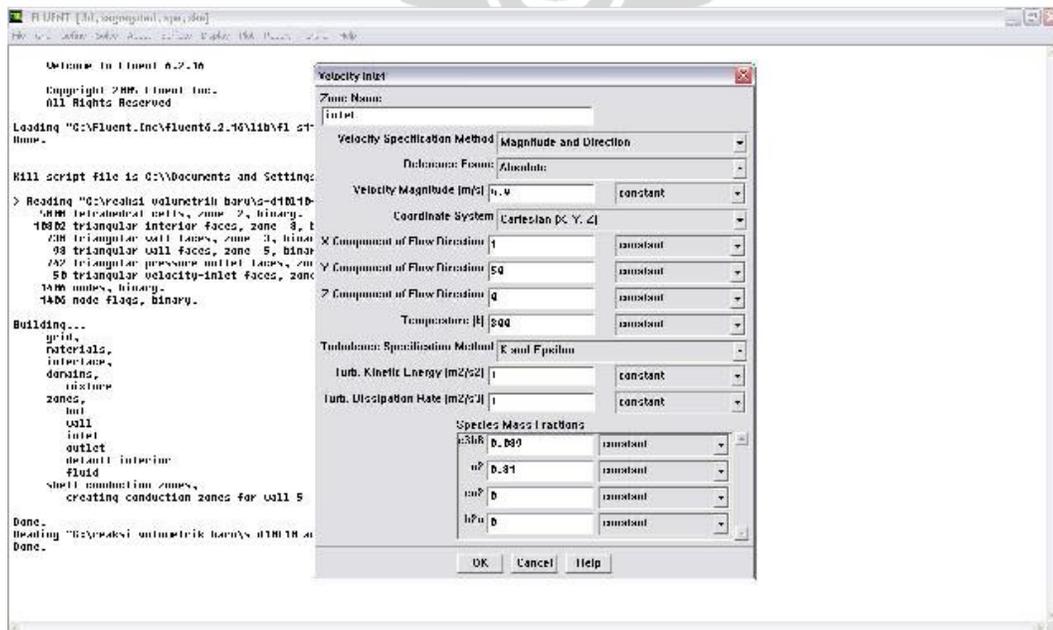
Reaksi yang terjadi:



Gambar 3.5.7

3.5.4 Boundary Condition

1. Inlet bahan bakar:

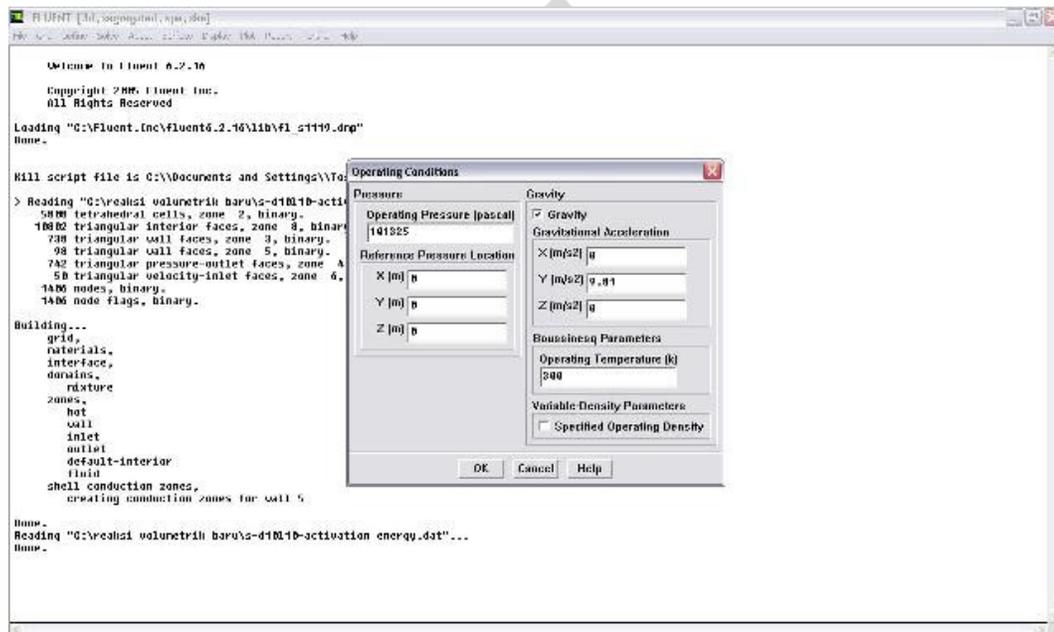


Gambar 3.5.8

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

1. Velocity magnitude : untuk keperluan simulasi, kecepatan dibuat konstan 4.9m/s
2. Temperature masuk adalah 300 K

3.5.5 Operating Condition



Gambar 3.5.9

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. Nilai gravitasi dimasukkan sesuai dengan arah sumbu kerja.

BAB IV

Hasil Dan Pembahasan

Setelah dilakukan percobaan, maka selanjutnya data dimasukkan ke dalam tabel pengambilan data. Data yang diambil adalah indikator aliran udara (mm) pada berbagai kondisi ring dan variabel indikator aliran gas propana. Kemudian dilakukan pengukuran temperatur ring menggunakan termokopel tipe-K dan pencatat data Flukke. Hasil pengukuran temperatur ini dicatat mulai sebelum lift up sampai terjadinya lift up. Temperatur lift-up ditentukan dengan mengamati temperatur burner tip dan temperatur ring. Saat temperatur burner tip mulai menunjukkan penurunan dan temperatur ring terjadi, maka temperatur ring yang terbaca itulah yang merupakan temperatur lift up nya.

Kondisi percobaan:

Ring Stabilizer yang digunakan yaitu ring dengan material *stainless steel* AISI 304 dan ring keramik dengan dimensi:

- Diameter barrel = 14mm
- Diameter luar (Dor) = 30 mm
- Diameter dalam (Dir) = 10 mm
- Tebal (t) = 5 mm

$g=9,8\text{m/s}^2$

Kelembaban relatif ruangan 57%

Kemurnian bahan bakar Propana (C_3H_8) 98%

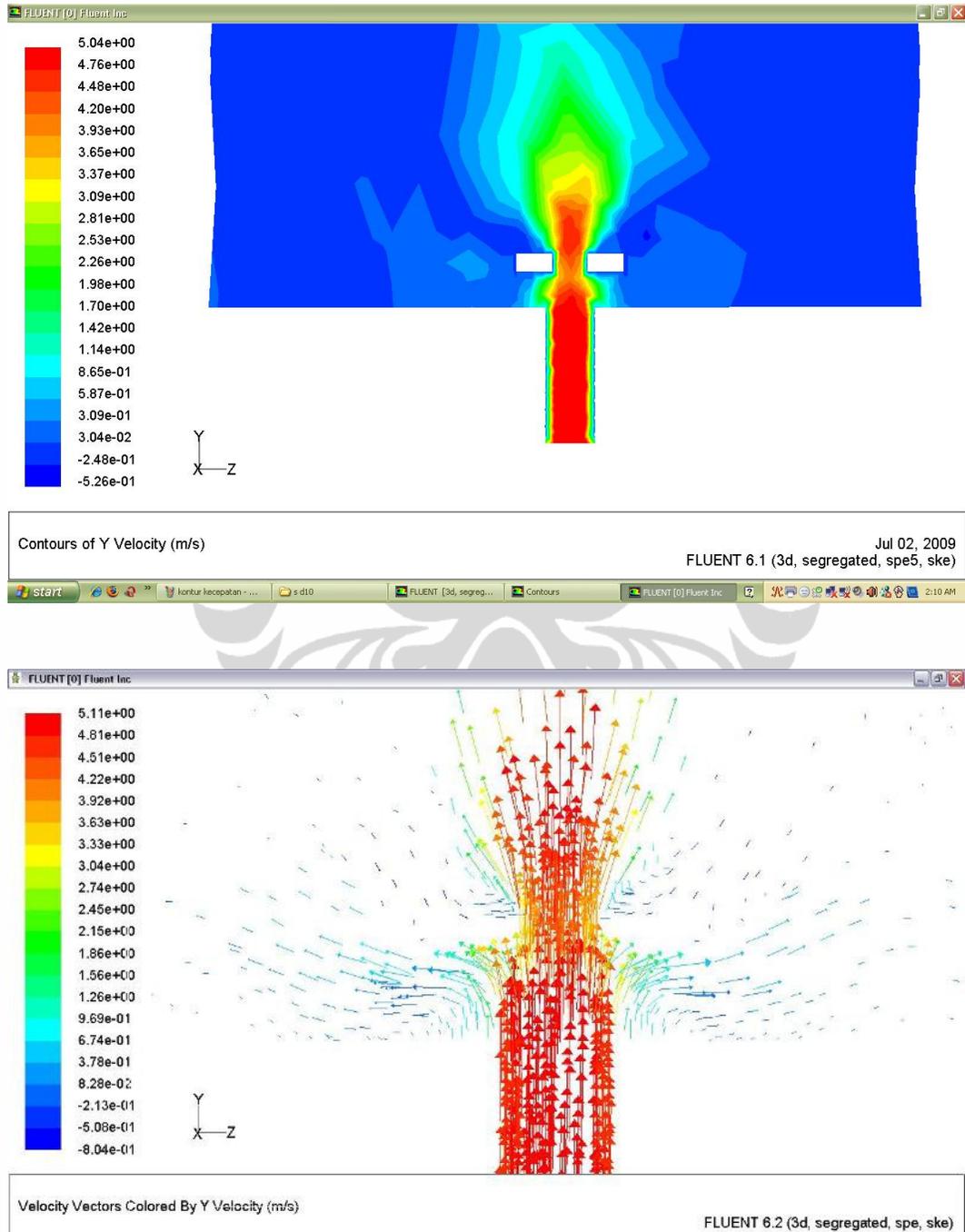
Temperatur ruangan 30°C

IV. 1. Hasil Simulasi CFD

Pada hasil simulasi, kita akan mendapatkan profil aliran campuran propana-udara. Dari hasil pemodelan ini kita akan mendapatkan bagaimana pola aliran yang terjadi pada pembakar bunsen ketika dipasangkan dengan ring. Konfigurasi yang digunakan adalah Di ring=10mm, ketinggian ring X=10mm, kecepatan campuran 4,9m/s dengan fraksi massa $\text{C}_3\text{H}_8=0,039$ dan fraksi massa $\text{O}_2=0,8$. Model

simulasi aliran yang di gunakan adalah Large Eddy simulation, dengan reaksi volumetrik satu tahap.

IV.1. 1. Kontur dan vektor kecepatan



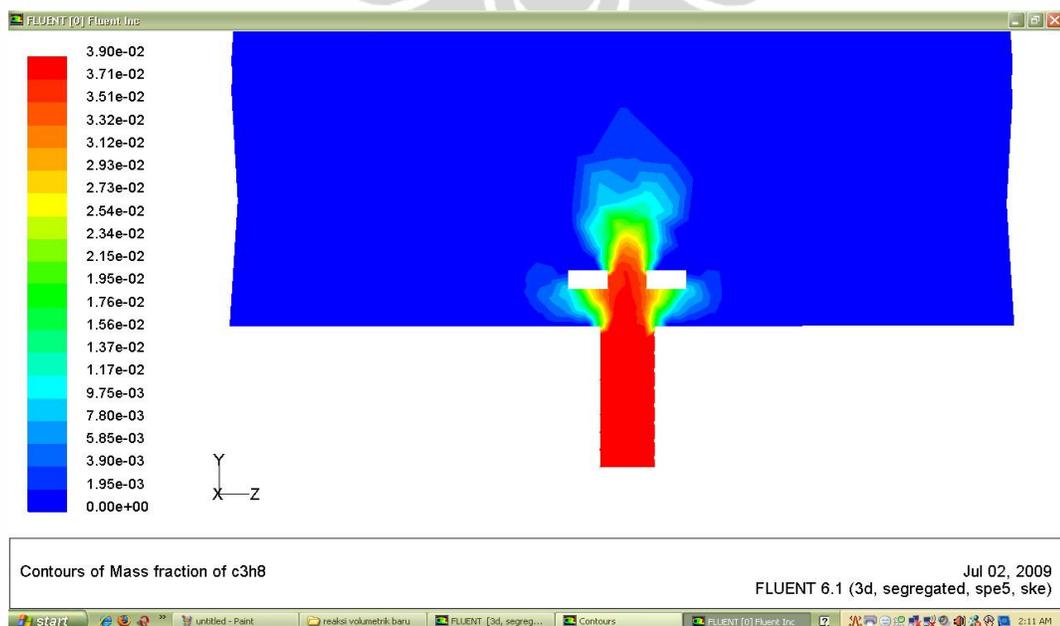
Gambar 4.1 Kontur dan Vektor kecepatan arah sumbu Y

Warna merah menunjukkan nilai kecepatan tinggi, dan ditunjukkan pada saat keluar barrel dan mengalami hambatan akibat adanya ring dan mengalami Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

kenaikan kembali pada bagian tengah ring. Bagian warna biru adalah daerah dengan nilai kecepatan negatif, yang artinya arah dari fluida tersebut berlawanan dengan arah asal fluida. Fluida diatas permukaan ring, mengalami stagnasi akibat resirkulasi tersebut. Dari kontur kita juga dapat memprediksikan aliran yang mungkin akan membawa panas secara konveksi yang dapat membantu pemanasan bahan bakar dan memperpanjang nyala api.

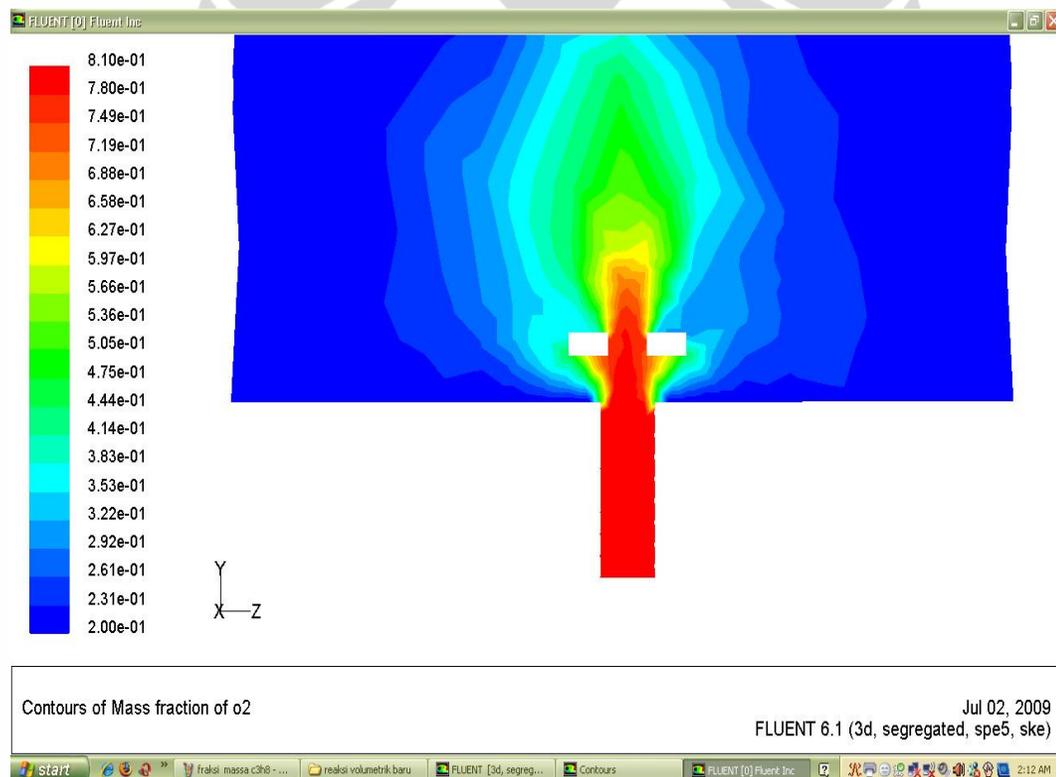
Gambar kontur kecepatan arah Y menggambarkan bagaimana kecepatan maksimal yang terjadi di daerah seputar ring. Kecepatan awal yang keluar dari mulut barrel sebesar 4,9m/s. Ketika keluar dari barrel, fluida mengalami pembesaran mendadak. Sebagian aliran menyebar kearah samping dan melewati sisi luar dari ring. Sebagian fluida melalui bagian tengah ring, dan mengalami percepatan karena mengalami pencekikan. Pada bagian permukaan ring, terlihat bahwa aliran mengalami sirkulasi dan menciptakan daerah stagnasi. Aliran yang melewati sisi luar ring, terhisap kembali oleh adanya daerah vakum yang tercipta dari aliran kecepatan tinggi yang keluar melalui bagian tengah ring. Aliran yang terhisap tadi, terpecah menjadi 2, bersirkulasi dengan aliran sisi luar ring dan ikut terhisap oleh aliran bagian tengah ring.

IV. 1. 2. Kontur fraksi massa C_3H_8 dan O_2



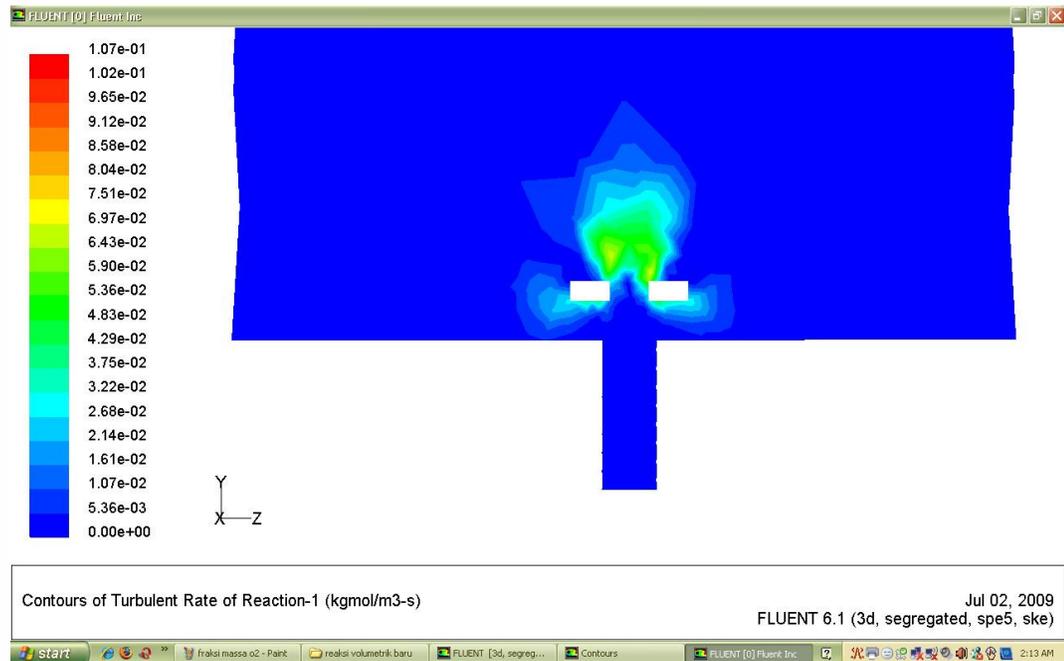
Gambar 4.2. Kontur fraksi massa C_3H_8
 Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Warna merah pada gambar terkonsentrasi pada bagian tengah ring, yang memberikan prediksi zona reaksi pembakaran. Fraksi massa C_3H_8 tersebar mengikuti vektor kecepatan. Konsentrasi di bagian tengah, yang berwarna merah merupakan daerah darkzone/unburned fuel. Sedangkan pada zona yang berwarna hijau ke kuning merupakan daerah reaksi pembakaran, dimana rasio bahan bakar udara sudah semakin besar. Jika kita lihat gambar 4.3, akan terlihat sebaran fraksi massa dari O_2 yang direaksikan. Distribusi nya lebih luas dibandingkan dengan fraksi massa propana, hal ini disebabkan oleh densitas udara yang lebih ringan dari propana. Jumlah udara ini sangat menentukan reaksi pembakaran yang pada akhirnya menentukan jumlah panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Pada daerah yang diprediksikan menjadi zona reaksi, memiliki fraksi massa udara yang lebih besar merata. Hal ini terbukti pada gambar kontur temperatur reaksi yang terbentuk.



Gambar 4.3 Kontur fraksi massa O_2

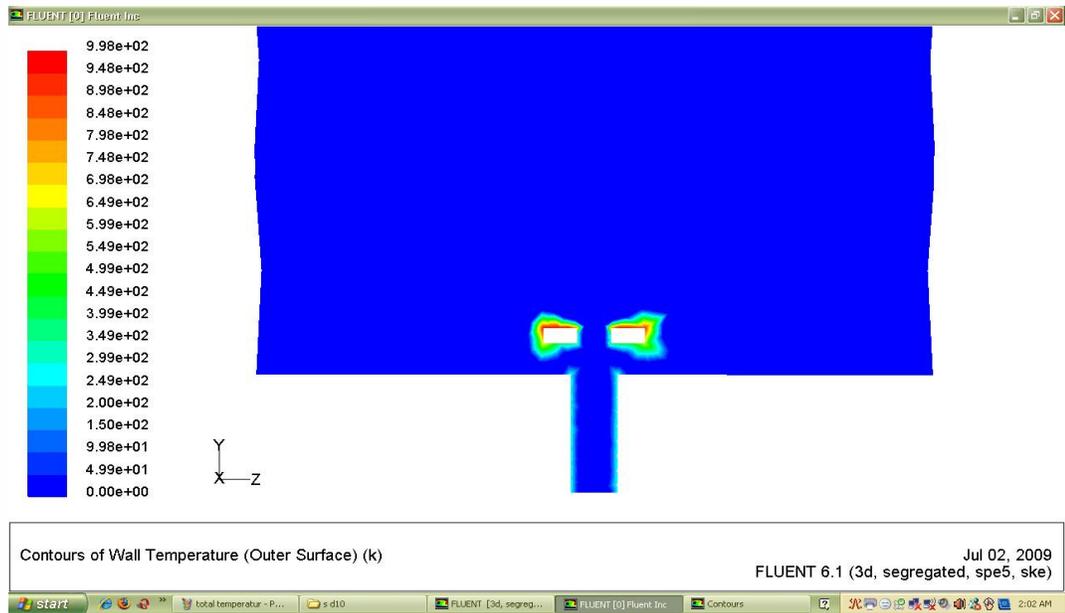
IV.1.3 Kontur laju reaksi turbulen



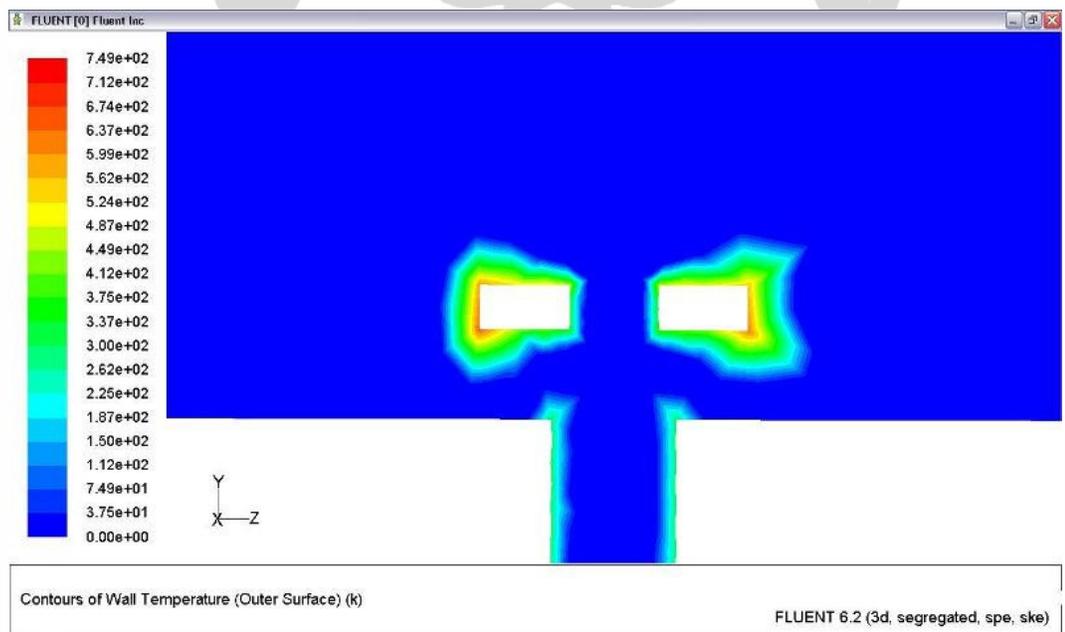
Gambar 4.4 Kontur laju reaksi turbulen

Dengan gambar ini kita dapat mendapatkan prediksi nilai dari laju reaksi yang diakibatkan oleh aliran turbulen yang tercipta. Dari gambar terlihat bahwa laju reaksi terbesar terjadi tepat di atas ring, sesuai dengan harapan fenomena lift-up. Lift-up tercipta karena adanya hambatan medan aliran, dan dalam simulasi ini, hambatan medan aliran tergambar dalam bentuk turbulensi dari zona resirkulasi. Turbulensi ini juga membantu terjadinya reaksi dipermukaan ring.

IV.1.4 Kontur temperatur daerah sekitar ring



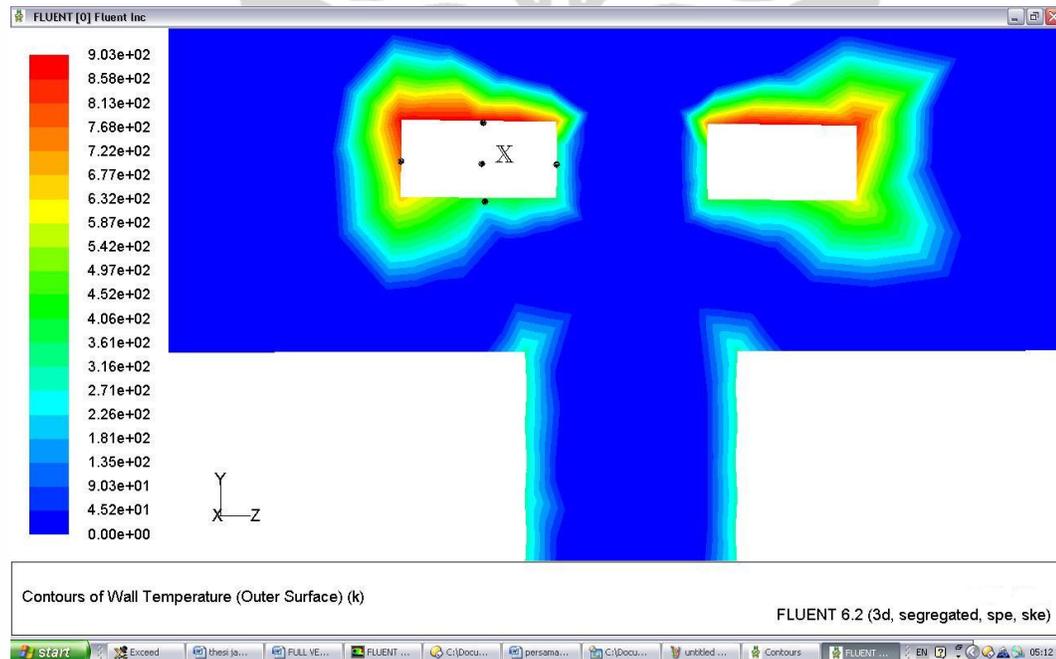
(a)



(b)

Gambar 4.5 Kontur temperatur permukaan ring a. AISI304 dan b. Keramik Dolomite

Temperatur maksimal yang terjadi di permukaan atas ring sebesar 998,7K, semakin menurun pada posisi di bawah ring. Penurunan ini disebabkan adanya pendinginan oleh semburan bahan bakar yang belum terbakar. Pancaran panas dari permukaan ring inilah yang menyebabkan berpindahnya zona reaksi ke atas permukaan ring. Dengan hasil ini, didapatkan petunjuk adanya pengaruh temperatur terhadap berpindahnya zona reaksi dari pembakaran premix. Dengan temperatur yang tinggi di bagian atas, maka reaksi pembakaran hanya terjadi diatas permukaan ring, dan membentuk struktur nyala api baru. Berbeda dengan penggunaan material keramik, suhu maksimum tercapai pada sisi samping ring. Hal ini disebabkan keramik tidak menyimpan panas, dan perpindahan panas secara konveksi terjadi pada sisi diameter dalam secara baik.



Dari hasil simulasi, temperatur didalam ring kita hitung balik menggunakan persamaan:

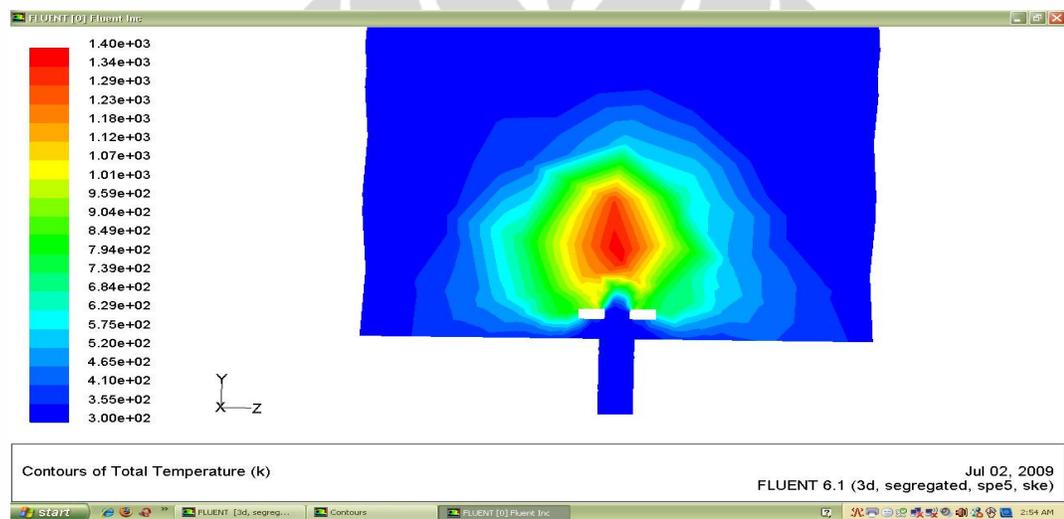
$$\{[(T_{X-1} + T_{X+1}) - 2TX]/(\Delta x^2)\} + \{[(T_{Y-1} + T_{Y+1}) - 2TX]/(\Delta y^2)\} = 0$$

$$\{[900 + 361 - 2TX] / (0.5)^2\} + \{[900 + 452 - 2TX] / (0.25)^2\} = 0$$

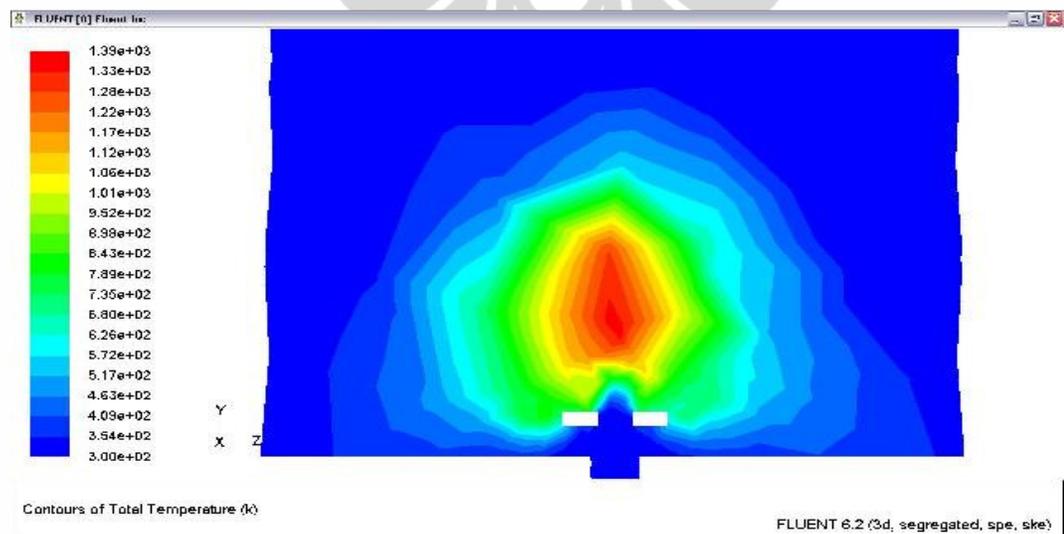
$$TX = (1261 + 338) / (2.5)$$

$$TX = 639,6 \text{ Kelvin}$$

Reaksi terjadi di atas permukaan ring juga dapat kita buktikan dengan melihat pada gambar 4.6. Pada gambar itu kita mendapatkan gambaran bagaimana nyala api terbentuk di atas ring. Jika merujuk pada temperatur zona api premix, maka kita bisa menentukan apa yang sebenarnya terjadi di permukaan ring. Bagaimana darkzone terbentuk dibagian tengah ring, kemudian terbentuk luminous zone dan reaction zone secara bertahap. Dan jika kita merujuk pada temperatur di daerah bawah ring, maka sama sekali tidak terdapat api. Hal ini dibuktikan dengan besaran temperatur daerah bawah ring pada nilai 300-355 Kelvin, yang mana nilai ini akan terbukti pada hasil pengukuran.



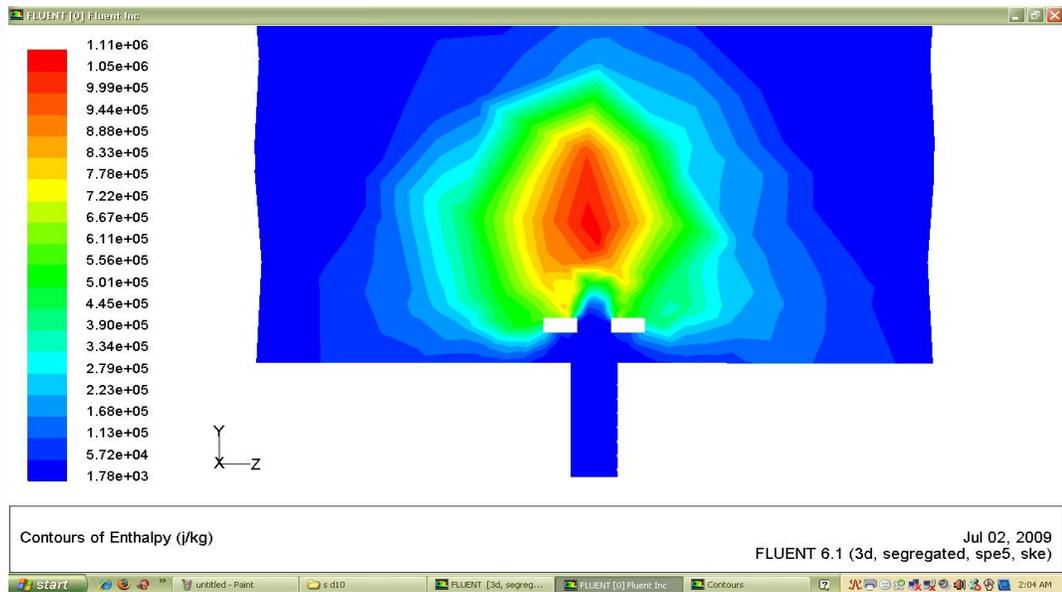
(a)



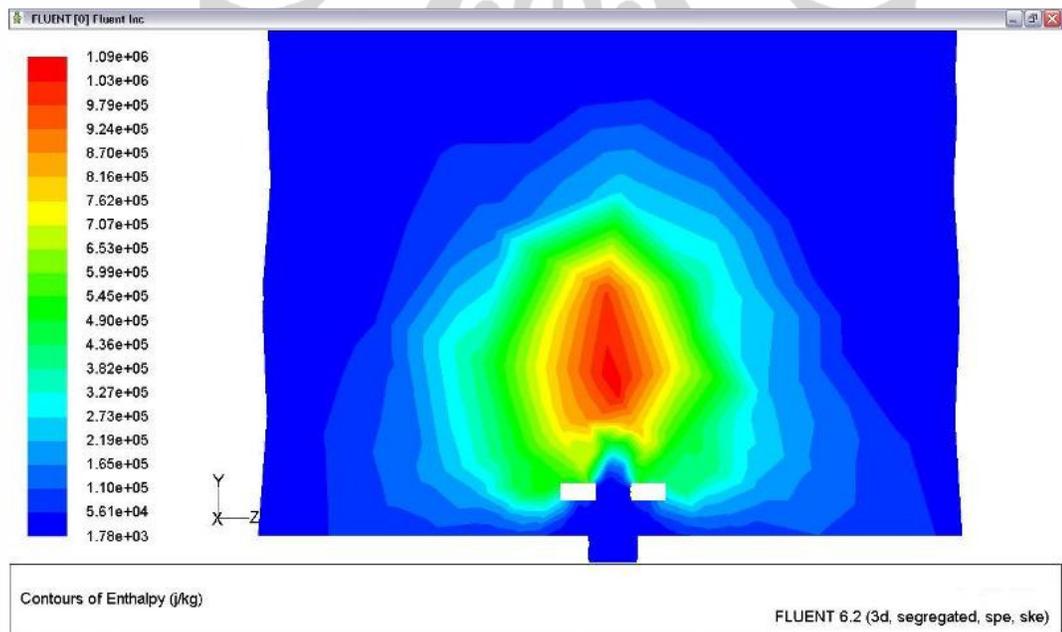
(b)

Gambar 4.6 Kontur temperatur total pada a. AISI304 dan b. Keramik Dolomite

Dua gambar berikut ini menggambarkan besaran energi dan entalpi reaksi yang terbentuk sesuai dengan temperatur yang tercapai.

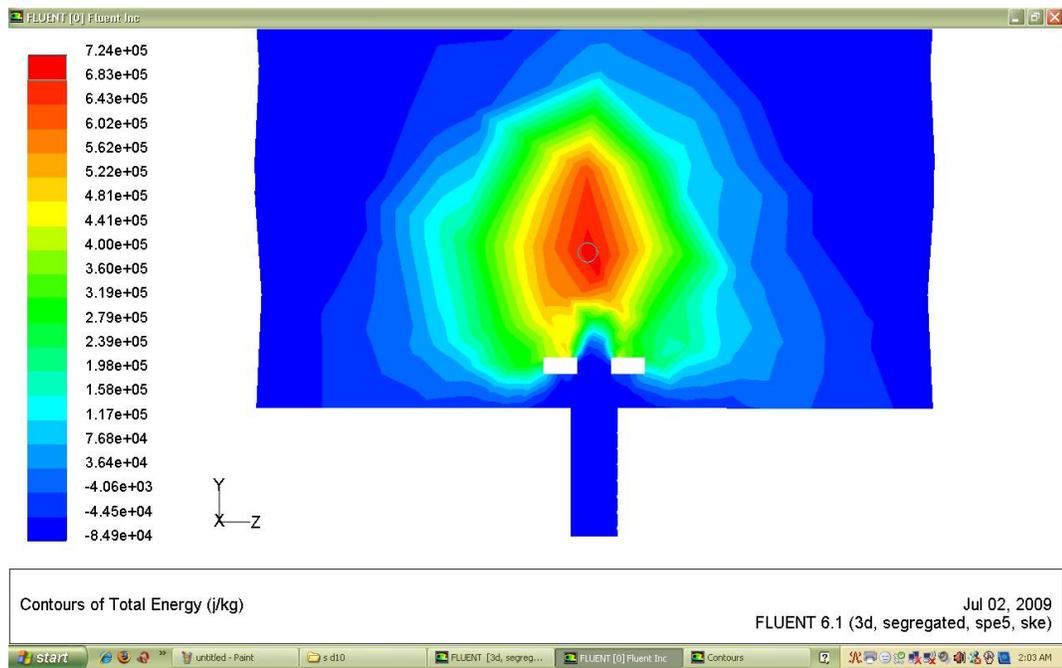


(a)

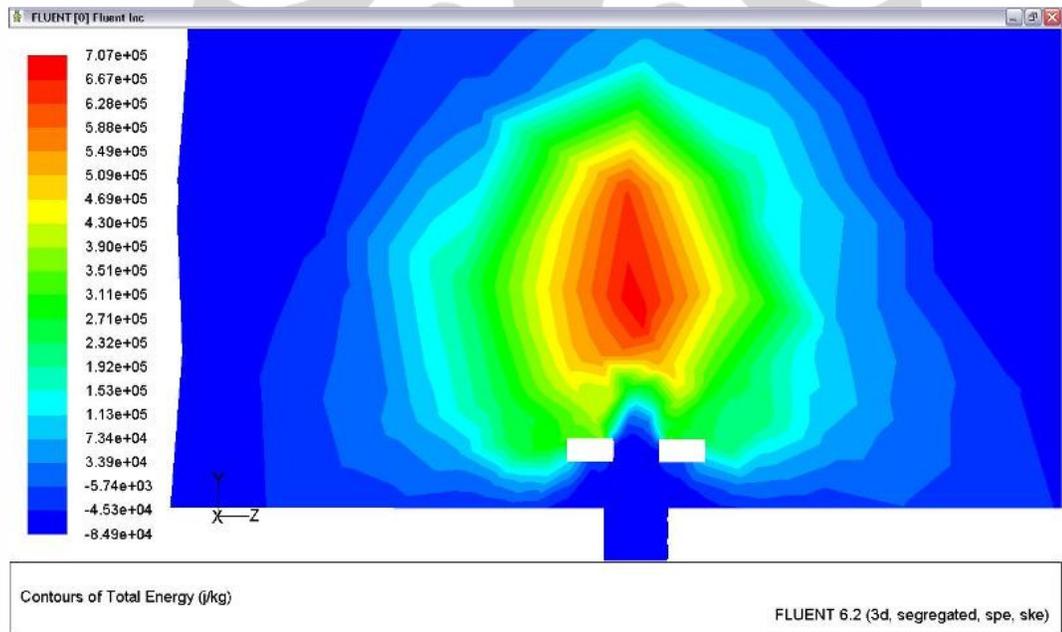


(b)

Gambar 4.7 Kontur enthalphy total a. AISI304 dan b. Keramik Dolomite



(a)



(b)

Gambar 4.8 Kontur energi total a. AISI304 dan b. Keramik Dolomite
 Selisih antara enthalpy reaktan dan enthalpy produk menghasilkan energi reaksi. Dari hasil simulasi ini, menunjukkan bahwa reaksi campuran propana-udara berlangsung di atas ring. Hal ini bisa dijadikan referensi bahwa lift-up adalah kejadian pindah nya nyala api secara keseluruhan dari barrel tip ke atas ring. Pada daerah dark zone , belum terjadi reaksi dan merupakan daerah transisi perubahan Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

molekul gas menuju daerah preheat zone untuk segera bereaksi. Pada zona luminous, merupakan zona awal reaksi, dan mulai terjadi pelepasan energi. Pada gambar, peningkatan energi dari warna biru menjadi hijau-kuning-merah, menunjukkan bahwa terjadi perambatan reaksi menuju reaksi keseluruhan.

IV.2 Pengukuran temperatur ring, burner tip, dan zona di bawah ring saat Lift-up.

Paramater yang di tetapkan dalam pengukuran ini adalah laju bahan bakar, dan laju udara menyesuaikan tergantung ketinggian ring yang akan diukur. Hasil yang diperoleh adalah:

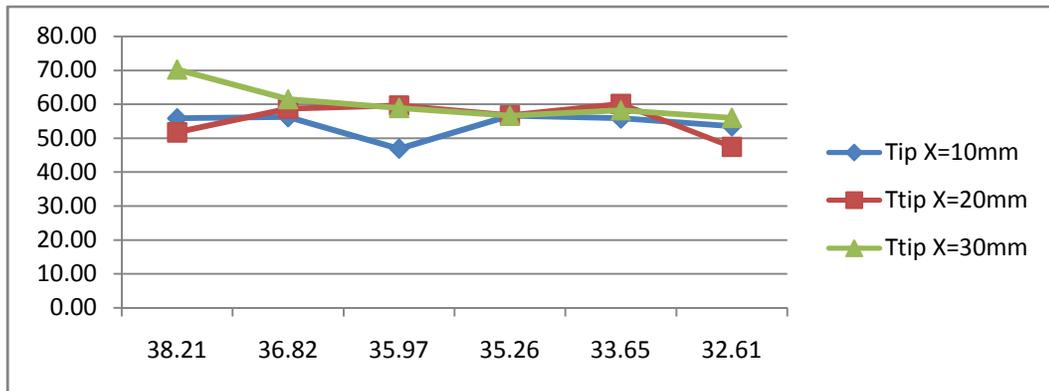
Ketinggian Ring Dari Barrel Tip	BB propana (cm)	Udara(cm)	BB propana (L/s)	Udara (L/s)	AFR
X=1cm	0.50	19.00	0.019	0.726	38.21
	1	20.4	0.021	0.773	36.82
	1.5	22	0.023	0.827	35.97
	2	23.6	0.025	0.881	35.26
	2.5	24.4	0.027	0.909	33.65
	3	25.5	0.029	0.946	32.61
X=2cm	0.50	19	0.019	0.726	38.21
	1	20	0.021	0.760	36.18
	1.5	21.5	0.023	0.811	35.24
	2	23	0.025	0.861	34.45
	2.5	24	0.027	0.895	33.15
	3	25	0.029	0.929	32.03
X=3cm	0.50	18.5	0.019	0.709	37.32
	1	19.6	0.021	0.746	35.54
	1.5	21	0.023	0.794	34.50
	2	22.3	0.025	0.838	33.50
	2.5	23.8	0.027	0.888	32.90
	3	24.7	0.029	0.919	31.68

Tabel 4.1 Tabel debit udara dan propana

Ketinggian Ring Dari Barrel Tip	X=0,5cm	X=1cm	X=1,5cm	X=2cm	X=2,5cm	T B tip	T pusat ring	T ring
X=1cm	52.18	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	55.83	67.13	724.23
	52.11	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	56.21	57.37	778.99
	48.85	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	46.92	58.15	751.88
	46.53	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	56.60	57.06	764.27
	49.09	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	55.83	54.28	792.31
	47.23	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	53.50	54.35	817.10
X=2cm	45.91	41.88	43.97	#VALUE!	#VALUE!	49.24	51.72	805.48
	48.23	45.91	51.87	#VALUE!	#VALUE!	51.25	58.69	842.66
	50.48	46.53	49.78	#VALUE!	#VALUE!	48.16	59.62	859.71
	52.49	46.84	46.76	#VALUE!	#VALUE!	55.28	56.75	893.79
	56.44	47.07	50.09	#VALUE!	#VALUE!	53.73	60.09	906.18
	43.66	40.95	43.43	#VALUE!	#VALUE!	51.56	47.46	872.87
X=3cm	49.32	47.69	49.40	50.79	52.73	70.23	73.87	713.31
	45.91	46.61	42.04	44.59	48.08	61.48	60.40	832.59
	47.46	40.33	41.57	42.58	47.77	58.92	59.70	948.78
	45.37	41.80	42.42	42.81	44.67	56.60	54.82	968.92
	49.71	42.97	40.57	42.35	46.61	58.23	54.04	985.19
	49.24	40.57	41.34	41.57	48.85	55.98	45.91	1009.98

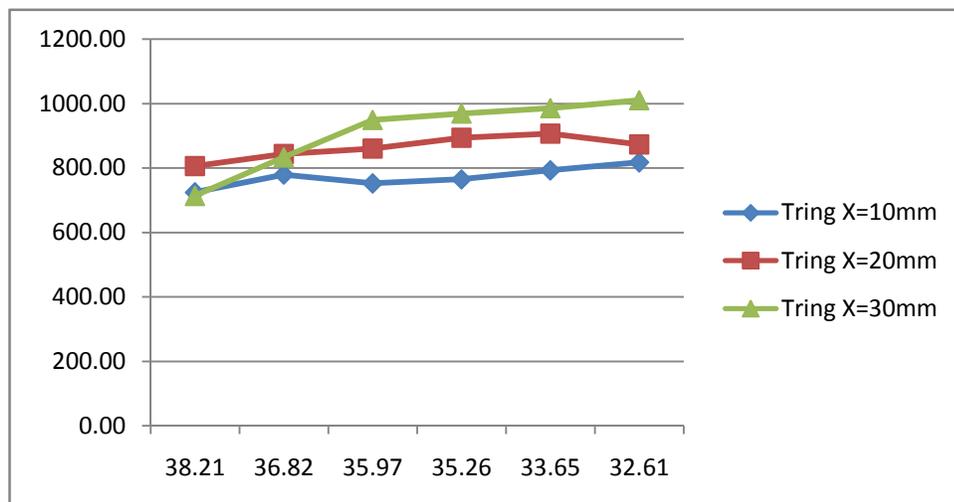
Tabel 4.2 Hasil pengukuran temperatur

Pengukuran yang dilakukan pada saat lift-up adalah pengukuran temperatur ring, temperatur burner tip, temperatur zona di bawah ring yang tidak terdapat nyala api. Pengukuran temperatur ini menggunakan type-K termokopel dan Flukke type-K reader. Dari hasil pengukuran di atas, ditemukan bahwa, di bawah ring pada saat lift-up merupakan daerah dingin. Hal ini di tunjukkan dengan nilai temperatur yang masih sama dengan temperatur burner tip. Hal ini sesuai dengan grafik temperatur burner tip vs AFR [32].



Gambar 4.8 Grafik T Btip vs AFR

Dengan temperatur ini, sangat tidak mungkin di bawah ring pada saat lift-up terdapat api. Api yang sudah terangkat keatas, duduk pada ring. Pada permukaan ring terbentuk zona pembakaran baru. Pada bagian tengah ring terbentuk dark zone baru yang memiliki temperatur dingin. Temperatur yang rendah ini disebabkan pada zona ini masih banyak bahan bakar yang belum terbakar dan belum banyak panas yang dilepaskan. Hal ini di buktikan dengan mengukur temperatur bagian tengah ring. Nilai yang di tunjukkan cukup rendah, hal ini berarti belum terjadi reaksi pembakaran. Nilai ini juga sesuai dengan hasil simulasi CFD yang telah dilakukan, bahwa tidak terdapat api dibagian bawah ring. Semakin keatas, semakin mendekati daerah luminous zone dan reaction zone. Karena keterbatasan alat dan geometri, pengukuran temperatur untuk kedua hal ini tidak dilakukan.



Gambar 4.9. Grafik temperatur ring lift-up vs AFR

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Gambar 4.8 menggambarkan kenaikan temperatur ring saat lift-up terhadap AFR. Semakin kecil AFR, semakin bertambah temperaturnya. Jika di lihat dari posisi ring, maka semakin tinggi posisi ring, maka semakin tinggi temperaturnya. Ketinggian posisi lift-up ini, menyebabkan temperatur yang diperlukan untuk terjadinya lift-up semakin membesar, seiring dengan burning load. Karena pada ketinggian 30mm, AFR untuk terjadinya lift-up lebih rendah dari ketinggian dibawahnya, sehingga membutuhkan dorongan temperatur supaya terjadinya lift-up. Temperatur yang lebih tinggi berarti panas yang lebih besar, panas yang lebih pada ring inilah yang membantu fenomena lift-up terjadi.

Untuk meyelidiki adakah pengaruh lain temperatur pada kejadian lift-up, maka dilakukan perhitungan panjang nyala yang didasarkan pada persamaan Rokke et al

$$\frac{L}{d_b} = 33Y_f^{2/5} Fr^{1/3} \dots\dots\dots(4.1)$$

L : panjang nyala total (mm)

D_b : diameter barrel (mm)

Y_f : Fraksi massa bahan bakar

Fr : bilangan Froud (V²/gd₀)

Y : kecepatan aliran (m/s²)

Persamaan 4.1 hanya berlaku untuk bilangan Froud kurang dari 10.000.

Panjang nyala api premix juga dipengaruhi oleh bilangan Lewis yang merupakan rasio momentum aliran terhadap gaya apung. Dengan bilangan Lewis, Persamaan Rokke di koreksi menjadi :

$$\frac{L}{d_b} = 16Y_f^{0,3} Fr^{0,2} Le^{-0,1} \dots\dots\dots(4.2) [33]$$

Oleh Hamdan Hartono, persamaan Rokke dikoreksi kembali dengan menambahkan rasio jarak dengan diameter dalam ring :

$$\frac{L_f}{d_b} = 13,043\phi^{1,7261} Fr^{-3,5598} Le^{-7,005} X^{0,1611} \dots\dots\dots(4.3)[22]$$

Untuk memperoleh pengaruh temperatur pada kejadian lift-up, maka pendekatan temperatur dilakukan untuk perhitungan panjang nyala. Bilangan temperatur yang mempengaruhi disebut dengan istilah thermal drive potensial, yang merupakan Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

selisih temperatur ring dengan burner tip di bagi dengan temperatur ring itu sendiri, di tuliskan dengan lambang T*:

$$T^* = \frac{Tring - Tbtip}{Tring} \dots\dots\dots(4.4)$$

dimana Tring dan Tbtip dalam celcius atau kelvin.

$\Delta T/Tring$ (Kelvin) T*1	$\Delta T/Ttip$ (Kelvin) T*2	$\Delta T1/tring$ (°C) T*3	$\Delta T1/Ttip$ (°C) T*4	LN T*1	LN T*2	LN T*3	LN T*4	LN X/Di
0.670260665	2.032698536	0.922917698	11.9731465	0.40009	0.709364	0.08022	2.482666	-0.01005
0.687057962	2.195479928	0.927839512	12.85799935	0.37534	0.786401	-0.0749	2.553966	-0.01005
0.687849302	2.203580851	0.937600179	15.02568694	0.37419	0.790084	0.06443	2.709761	-0.01005
0.682244392	2.147072698	0.925943184	12.50314595	0.38237	0.764105	0.07694	2.52598	-0.01005
0.691335256	2.239761001	0.929541743	13.19280066	0.36913	0.806369	0.07306	2.579671	-0.01005
0.700485533	2.338736885	0.934523083	14.27255776	0.35598	0.849611	0.06772	2.658339	-0.01005
0.701208994	2.34682096	0.93886771	15.3579674	0.35495	0.853062	0.06308	2.731634	-0.01005
0.709361386	2.440699045	0.939175054	15.44062294	0.34339	0.892284	0.06275	2.737002	0.693147
0.716469354	2.526955605	0.943984762	16.85228519	0.33342	0.927015	0.05765	2.824486	0.693147
0.718643773	2.55421315	0.938147595	15.16752016	0.33039	0.937744	0.06385	2.719156	0.693147
0.722914718	2.608997174	0.940703127	15.86429559	0.32446	0.958966	0.06113	2.764071	0.693147
0.716753285	2.530491074	0.940925188	15.9276883	0.33302	0.928413	0.06089	2.768059	0.693147
0.652001692	1.87357719	0.901539144	9.156320391	0.42771	0.62785	0.10365	2.214444	1.098612
0.697466068	2.30541435	0.926158848	12.54258397	-0.3603	0.83526	0.07671	2.52913	1.098612
0.728328804	2.680920231	0.937895749	15.10195725	-0.317	0.98616	0.06412	2.714824	1.098612
0.734605478	2.767975288	0.941584951	16.11887621	0.30842	1.018116	0.06019	2.779991	1.098612
0.736743793	2.798580898	0.940898336	15.91999743	0.30552	1.029112	0.06092	2.767576	1.098612
0.743580799	2.899863955	0.944572978	17.04174131	0.29628	1.064664	0.05702	2.835666	1.098612

Tabel 4.3 Tabel T*
Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Untuk melakukan perhitungan regresi, dilakukan 2 variasi temperatur, yaitu dalam Kelvin dan Celcius. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh pendekatan persamaan terbaik dan optimal. Untuk mendukung perhitungan regresi T^* terhadap persamaan Rokke, maka dilakukan perhitungan properti dari campuran bahan bakar, yang ditunjukkan dalam tabel tabel berikut ini:



Debit Udara ltr/s	Mass flow Udara kg/s x 10 ⁻³ m	Mass flow Camp kg/s x 10 ⁻³	Fraksi Massa BBG	Rho Camp kg/m ³	Kec. Udra m/s	Kec Camp m/s	Visc Camp	Fraksi mol BBG χ_f	AFR	Burner Load BL	Bil Reynold Re	Fr	Bil Lewis Le
0.726	0.893	0.928	0.039	1.220	4.719	4.943	0.0000010830	0.025	38.211	10416.702	77934.801	177.927	0.128
0.773	0.951	0.989	0.040	1.219	5.026	5.275	0.0000011372	0.026	36.825	11513.197	79168.801	202.568	0.120
0.827	1.018	1.060	0.041	1.219	5.378	5.650	0.0000011991	0.026	35.974	12609.692	80400.128	232.408	0.112
0.881	1.084	1.130	0.042	1.219	5.729	6.025	0.0000012477	0.027	35.259	13706.187	82386.974	264.297	0.105
0.909	1.117	1.167	0.044	1.218	5.905	6.224	0.0000012933	0.028	33.649	14802.682	82079.406	282.081	0.101
0.946	1.163	1.216	0.045	1.218	6.146	6.490	0.0000013527	0.029	32.610	15899.177	81797.518	306.641	0.097

Tabel 4.3 Perhitungan properti campuran pada X=10mm

Debit Udara ltr/s	Mass flow Udara kg/s x 10 ⁻³ m	Mass flow Camp kg/s x 10 ⁻³	Fraksi Massa BBG	Rho Camp kg/m ³	Kec. Udra m/s	Kec Camp m/s	Visc Camp	Fraksi mol BBG χ_f	AFR	Burner Load BL	Bil Reynold Re	Fr	Bil Lewis Le
0.726	0.893	0.928	0.039	1.220	4.719	4.943	0.0000010918	0.025	38.211	10416.702	85824.638	217.904	0.128
0.760	0.935	0.973	0.041	1.219	4.938	5.714	0.0000011693	0.026	36.181	11513.197	83670.917	237.721	0.110
0.811	0.997	1.039	0.042	1.219	5.268	5.913	0.0000012318	0.027	35.239	12609.692	82094.506	254.602	0.107
0.861	1.059	1.105	0.043	1.218	5.597	6.135	0.0000012757	0.027	34.448	13706.187	82153.796	274.022	0.103
0.895	1.101	1.150	0.045	1.218	5.817	6.444	0.0000013208	0.028	33.148	14802.682	83348.173	302.344	0.098
0.929	1.142	1.195	0.046	1.218	6.037	6.599	0.0000013762	0.029	32.028	15899.177	81857.269	317.109	0.096

Tabel 4.4 Perhitungan properti campuran pada X=20mm

Debit Udara ltr/s	Mass flow Udara kg/s x 10 ⁻³ m	Mass flow Camp kg/s x 10 ⁻³	Fraksi Massa BBG	Rho Camp kg/m ³	Kec. Udra m/s	Kec Camp m/s	Visc Camp	Fraksi mol BBG χ_f	AFR	Burner Load BL	Bil Reynold Re	Fr	Bil Lewis Le
Q									AFR				Le
0.709	0.872	0.907	0.040	1.219	4.609	4.833	0.0000011107	0.025	37.321	10416.702	78827.389	190.803	0.130
0.746	0.918	0.956	0.042	1.219	4.850	5.099	0.0000011792	0.027	35.537	11513.197	78065.088	211.093	0.124
0.794	0.976	1.018	0.043	1.218	5.158	5.430	0.0000012468	0.027	34.504	12609.692	78660.481	239.694	0.116
0.838	1.030	1.076	0.044	1.218	5.444	5.739	0.0000012907	0.028	33.502	13706.187	78847.048	258.546	0.110
0.888	1.093	1.142	0.045	1.218	5.773	6.092	0.0000013445	0.029	32.898	14802.682	77555.578	272.213	0.104
0.919	1.130	1.183	0.047	1.218	5.971	6.314	0.0000014002	0.030	31.678	15899.177	78251.196	300.444	0.100

Tabel 4.5 Perhitungan properti campuran pada X=30mm

Persamaan Regresi dengan 5 variabel adalah :

$$\frac{L_f}{d_b} = Z \cdot \phi^B \cdot Fr^C \cdot Le^D \cdot X^E \cdot T^F$$

Dimana T = T*

$$\ln\left(\frac{L_f}{d_b}\right) = \ln Z + B \ln \phi + C \ln Fr + D \ln Le + E \ln X + F \ln T$$

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5$$

In ϕ	In Fr	In Le	In X	InT*	In W
Fraksi mol			X/Di	T*1	Lf/Db
X1	X2	X3	X4	X5	Y
-	-	-	-	-	-
3.25129	5.1814	2.05889	-0.01005	0.40009	2.436116
-	-	-	-	-	-
3.21435	5.3111	2.12374	-0.01005	0.37534	2.607967
-	-	-	-	-	-
3.19097	5.4485	2.19245	-0.01005	0.37419	2.65926
-	-	-	-	-	-
-3.1709	5.5771	2.25674	-0.01005	0.38237	2.683953
-	-	-	-	-	-
3.12416	5.6422	-2.2893	-0.01005	0.36913	2.75457
-	-	-	-	-	-
3.09281	5.7257	2.33104	-0.01005	0.35598	2.799022
-	-	-	-	-	-
3.25129	5.3841	2.05889	-0.01005	0.35495	2.5539
-	-	-	-	-	-
3.19671	5.4711	2.20375	0.693147	0.34339	2.683953
-	-	-	-	-	-
3.17033	5.5397	2.23805	0.693147	0.33342	2.70805
-	-	-	-	-	-
3.14763	5.6132	2.27481	0.693147	0.33039	2.75457
-	-	-	-	-	-
3.10916	5.7116	2.32399	0.693147	0.32446	2.768114
-	-	-	-	-	-
3.07478	5.7592	2.34783	0.693147	0.33302	2.820528
-	-	-	-	-	-
3.22774	5.2512	2.03642	1.098612	0.42771	2.607967
-	-	-	-	-	-
3.17876	5.3523	2.08985	1.098612	-0.3603	2.65926
-	-	-	-	-	-
3.14926	5.4794	2.15279	1.098612	-0.317	3.113515
-	-	-	-	-	-
3.11977	5.5551	2.20818	1.098612	0.30842	3.153956
-	-	-	-	-	-
3.10158	5.6066	-2.2679	1.098612	0.30552	3.160035
-	-	-	-	-	-
-3.0638	5.7053	2.30359	1.098612	0.29628	3.160035

Tabel 4.6 Tabel bilangan natural komponen persamaan Rokke

Dengan bantuan software Minitab, didapatkan hasil sebagai berikut:

KOMBINASI 1

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 19.7 + 3.83 X1 - 0.243 X2 + 1.09 X3 + 0.0236 X4 + 3.07 X5$$

S = 0.1050 **R-Sq = 84.0%** R-Sq(adj) = 77.3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.69242	0.13848	12.57	0.000
Error	12	0.13218	0.01102		
Total	17	0.82461			

KOMBINASI 2

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 17.5 + 3.75 X1 - 0.245 X2 + 1.07 X3 + 0.0148 X4 + 0.965 X5$$

S = 0.1028 **R-Sq = 84.6%** R-Sq(adj) = 78.2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.69785	0.13957	13.21	0.000
Error	12	0.12675	0.01056		
Total	17	0.82461			

KOMBINASI 3

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 20.6 + 4.38 X1 - 0.104 X2 + 1.40 X3 + 0.0916 X4 + 6.03 X5$$

S = 0.1151 **R-Sq = 80.7%** R-Sq(adj) = 72.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.66573	0.13315	10.06	0.001
Error	12	0.15888	0.01324		
Total	17	0.82461			

KOMBINASI 4

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 19.5 + 4.47 X_1 - 0.141 X_2 + 1.40 X_3 + 0.0802 X_4 + 0.453 X_5$$

$$S = 0.1148 \quad R-Sq = 80.8\% \quad R-Sq(adj) = 72.8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.66649	0.13330	10.12	0.001
Error	12	0.15812	0.01318		
Total	17	0.82461			

Dari keempat kombinasi, harus dipilih salah satu yang memiliki koefisien determinasi (R^2) terbaik, standar deviasi terkecil (S), dan kesalahan kuadrat rata-rata (MS) terkecil. Melihat ketiga syarat itu, kombinasi 1 dan 2 memenuhi persyaratan, yang artinya, dalam perhitungan panjang nyala yang dipengaruhi oleh temperature ring, maka perhitungan T^* harus dalam satuan Kelvin (K). Disepakati juga bahwa pembagi pada perhitungan T^* adalah temperature ring. Maka dapat disimpulkan, persamaan Rokke yang baru dengan penambahan variabel rasio temperature, diambil dari kombinasi 1, yaitu:

$$Y = 19.7 + 3.83 X_1 - 0.243 X_2 + 1.09 X_3 + 0.0236 X_4 + 3.07 X_5$$

Atau

$$\frac{L_f}{d_b} = 19,7\phi^{3,83} \cdot Fr^{-0,243} \cdot Le^{1,09} \cdot X^{0,0236} \cdot T^{3,07} \dots\dots\dots(4.5)$$

Dengan melihat persamaan diatas, semakin besar temperature ring, maka akan memperbesar nilai panjang nyala api. Perpindahan panas dari ring ke campuran yang belum terbakar, membantu penyalaan sehingga memperpanjang nyala api

BAB V

Kesimpulan

Dari percobaan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat kita simpulkan beberapa hal:

1. Kejadian lift-up adalah kejadian berpindahnya nyala api premix secara lengkap dari burner tip ke posisi ring stabilizer.
2. Nyala api ini berpindah karena adanya medan aliran yang terganggu dan menimbulkan aliran resirkulasi sehingga kecepatan aliran sama dengan kecepatan nyala. Daerah sirkulasi terlihat dari hasil simulasi CFD dengan aliran berpusar muncul di sekeliling zona pembakaran. Distribusi fraksi massa propane juga sesuai dengan hasil pembakaran di laboratorium. Bentuk api percobaan dengan hasil simulasi cukup sesuai.
3. Daerah di bawah ring tidak menunjukkan adanya api, hal ini di tunjukkan dengan rendahnya temperature di bawah ring, nilainya masih jauh di bawah temperature penyalaan propane. Range temperatur daerah di bawah ring, mulai dari 48°C-70°C. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi, reaksi hanya terjadi diatas permukaan ring, ditunjukkan dengan nilai temperature yang menyamai nilai temperature nyala api premix. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa di daerah bawah ring, tidak terjadi reaksi, nilai temperature yang di tampilkan pada angka 300K-355K.
4. Kejadian lift-up juga dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi posisi ring, semakin tinggi temperature yang di perlukan untuk mencapai posisi lift-up. Dengan burning load yang sama, maka temperature yang diperlukan untuk mencapai posisi lift-up semakin tinggi, hal ini disebabkan oleh AFR yang lebih rendah pada posisi tinggi.
5. Untuk mencari thermal drive potential, maka pendekatan T^* digunakan pada persamaan Rokke. Hasil yang di dapat dari persamaan Rokke terkoreksi oleh T^* :

$$\frac{L_f}{d_b} = 19,7\phi^{3,83} \cdot Fr^{-0,243} Le^{1,09} X^{0,0236} T^{3,07}$$

semakin tinggi temperature, semakin besar nilai panjang nyala yang dihasilkan dengan burning load yang sama.

6. Selama laju kerugian panas akibat dari konduksi dan radiasi ring ke campuran bahan bakar seimbang dengan panas yang dihasilkan oleh pembakaran , maka kestabilan nyala akan tetap terjaga. Inilah yang di sebut sebagai “flame stabilizer ring”



DAFTAR ACUAN

- [1] Dhiputra, I Made Kartika, *Penuntun Pengujian Mempergunakan Bunsen Burner*, Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2002.
- [2] Kuo, Kenneth K. *Principle of Combustion* (Canada: John Wiley and Sons, 1986)
- [3] Strehlow, Roger A. *Combustion Fundamentals* (Urbana : Tata McGraw-Hill, 1985)
- [4] Drysdale, Dougal. *An Introduction to Fire Dynamics 2nd Ed* (John Wiley and Sons, 2003)
- [5] Holman, J.P. *Heat Transfer 7th Ed* (McGraw-Hill, 1992)
- [6] B.H.Y. Tang, C.K. Chan, *Simulation of flame surface density and burning rate of a premixed turbulent flame using contour advection*, *Combustion and Flame* 147 (2006) 49–66.
- [7] B. Renou, A. Boukhalfa, D. Puechberty and M. Trinité, *Experimental study of freely-propagating premixed low-turbulent flame response to local stretch. Influence of Lewis numbers*, UMR 6614 CORIA-LAME, INSA - Avenue de l'Université – BP876801 Saint-Etienne du Rouvray Cedex, FRANCE.
- [8] B. Jeanne, E. Samson, B. Renou and A. Boukhalfa, *Bunsen flame analysis using simultaneous tomographic images and PIV in the fresh and burnt gases*, LAME - CORIA UMR 6614 CNRS, INSA - Avenue de l'Université - BP8, 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex, France.
- [9] Deborah K. Kennard, Kenneth W. Outcalt, David Jones², and Joseph J. O'Brien, *Comparing Techniques for Estimating Flame Temperature of Prescribed Fires*, *Fire Ecology*, 1(1), 2005.

Lampiran

Hasil Pengolahan Minitab

KOMBINASI 1

Data Display

Row	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	-3.25129	5.1814	-2.05889	-0.01005	-0.400089	2.43612
2	-3.21435	5.3111	-2.12374	-0.01005	-0.375337	2.60797
3	-3.19097	5.4485	-2.19245	-0.01005	-0.374186	2.65926
4	-3.17090	5.5771	-2.25674	-0.01005	-0.382367	2.68395
5	-3.12416	5.6422	-2.28930	-0.01005	-0.369130	2.75457
6	-3.09281	5.7257	-2.33104	-0.01005	-0.355982	2.79902
7	-3.25129	5.3841	-2.05889	-0.01005	-0.354949	2.55390
8	-3.19671	5.4711	-2.20375	0.69315	-0.343390	2.68395
9	-3.17033	5.5397	-2.23805	0.69315	-0.333420	2.70805
10	-3.14763	5.6132	-2.27481	0.69315	-0.330389	2.75457
11	-3.10916	5.7116	-2.32399	0.69315	-0.324464	2.76811
12	-3.07478	5.7592	-2.34783	0.69315	-0.333024	2.82053
13	-3.22774	5.2512	-2.03642	1.09861	-0.427708	2.60797
14	-3.17876	5.3523	-2.08985	1.09861	-0.360301	2.65926
15	-3.14926	5.4794	-2.15279	1.09861	-0.317003	3.11352
16	-3.11977	5.5551	-2.20818	1.09861	-0.308422	3.15396
17	-3.10158	5.6066	-2.26790	1.09861	-0.305515	3.16004
18	-3.06380	5.7053	-2.30359	1.09861	-0.296278	3.16004

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 19.7 + 3.83 X1 - 0.243 X2 + 1.09 X3 + 0.0236 X4 + 3.07 X5$$

Predictor	Coef	StDev	T	P	VIF
Constant	19.678	6.642	2.96	0.012	
X1	3.825	1.389	2.75	0.017	10.0
X2	-0.2434	0.6685	-0.36	0.722	20.0
X3	1.093	1.039	1.05	0.313	17.0
X4	0.02355	0.08065	0.29	0.775	2.4
X5	3.066	1.194	2.57	0.025	2.7

S = 0.1050 **R-Sq = 84.0%** R-Sq(adj) = 77.3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.69242	0.13848	12.57	0.000
Error	12	0.13218	0.01102		
Total	17	0.82461			

Source	DF	Seq SS
X1	1	0.47341
X2	1	0.06486
X3	1	0.05648
X4	1	0.02501
X5	1	0.07266

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Unusual Observations							
Obs	X1	Y	Fit	StDev Fit	Residual	St	
Resid							
14	-3.18	2.6593	2.8514	0.0539	-0.1921	-	
2.13R							

R denotes an observation with a large standardized residual

UJI SERENTAK (UJI F)

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ (Artinya X1, X2, X3, X4 dan X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 =$ minimal ada $\beta_i \neq 0$ (Artinya minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

Terima H_0 jika $F_{hitung} < F_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga F_{hitung} sebesar 12.57 sedangkan F_{tabel} dengan dk pembilang 5 dan penyebut 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 3.106. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka koefisien arah regresi Y atas X1, X2, X3, X4 dan X5 berarti minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$.

UJI PARSIAL (UJI t)

1. Uji t untuk β_1

$H_0 = \beta_1 = 0$ (Artinya X1 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_1 \neq 0$ (Artinya X1 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.75 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$

sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka tolak H_0 yang artinya koefisien arah regresi Y atas X_1 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

2. Uji t untuk β_2

$H_0 = \beta_2 = 0$ (Artinya X_2 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_2 \neq 0$ (Artinya X_2 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar -0.36 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka terima H_0 artinya koefisien arah regresi Y atas X_2 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

3. Uji t untuk β_3

$H_0 = \beta_3 = 0$ (Artinya X_3 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_3 \neq 0$ (Artinya X_3 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.05 sedangkan F_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 koefisien arah regresi Y atas X_3 berarti tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

4. Uji t untuk β_4

$H_0 = \beta_4 = 0$ (Artinya X_4 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_4 \neq 0$ (Artinya X_4 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 0.29 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 artinya koefisien arah regresi Y atas X4 berarti tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

5. Uji t untuk β_5

$H_0 = \beta_5 = 0$ (Artinya X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_5 \neq 0$ (Artinya X5 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.57 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 koefisien arah regresi Y atas X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 21.57 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.10$ sebesar 1.78. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 koefisien arah regresi Y atas X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.10$

Data Display

Row	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	-3.25129	5.1814	-2.05889	-0.01005	0.70936	2.43612
2	-3.21435	5.3111	-2.12374	-0.01005	0.78640	2.60797
3	-3.19097	5.4485	-2.19245	-0.01005	0.79008	2.65926
4	-3.17090	5.5771	-2.25674	-0.01005	0.76411	2.68395
5	-3.12416	5.6422	-2.28930	-0.01005	0.80637	2.75457
6	-3.09281	5.7257	-2.33104	-0.01005	0.84961	2.79902
7	-3.25129	5.3841	-2.05889	-0.01005	0.85306	2.55390
8	-3.19671	5.4711	-2.20375	0.69315	0.89228	2.68395
9	-3.17033	5.5397	-2.23805	0.69315	0.92702	2.70805
10	-3.14763	5.6132	-2.27481	0.69315	0.93774	2.75457
11	-3.10916	5.7116	-2.32399	0.69315	0.95897	2.76811
12	-3.07478	5.7592	-2.34783	0.69315	0.92841	2.82053
13	-3.22774	5.2512	-2.03642	1.09861	0.62785	2.60797
14	-3.17876	5.3523	-2.08985	1.09861	0.83526	2.65926
15	-3.14926	5.4794	-2.15279	1.09861	0.98616	3.11352
16	-3.11977	5.5551	-2.20818	1.09861	1.01812	3.15396
17	-3.10158	5.6066	-2.26790	1.09861	1.02911	3.16004
18	-3.06380	5.7053	-2.30359	1.09861	1.06466	3.16004

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 17.5 + 3.75 X1 - 0.245 X2 + 1.07 X3 + 0.0148 X4 + 0.965 X5$$

Predictor	Coef	StDev	T	P	VIF
Constant	17.486	6.398	2.73	0.018	
X1	3.747	1.361	2.75	0.018	10.0
X2	-0.2452	0.6525	-0.38	0.714	19.9
X3	1.074	1.018	1.06	0.312	17.0
X4	0.01479	0.07985	0.19	0.856	2.5
X5	0.9649	0.3549	2.72	0.019	2.8

S = 0.1028 R-Sq = 84.6% R-Sq(adj) = 78.2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.69785	0.13957	13.21	0.000
Error	12	0.12675	0.01056		
Total	17	0.82461			

Source	DF	Seq SS
X1	1	0.47341
X2	1	0.06486
X3	1	0.05648
X4	1	0.02501
X5	1	0.07809

Unusual Observations

Obs	X1	Y	Fit	StDev Fit	Residual	St
14	-3.18	2.6593	2.8400	0.0536	-0.1808	-
2.06R						

R denotes an observation with a large standardized residual

UJI SERENTAK (UJI F)

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ (Artinya X1, X2, X3, X4 dan X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 =$ minimal ada $\beta_i \neq 0$ (Artinya minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

Terima H_0 jika $F_{hitung} < F_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga F_{hitung} sebesar 13.21 sedangkan t_{tabel} dengan dk pembilang 5 dan penyebut 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 3.106. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka koefisien arah regresi Y atas X1, X2, X3, X4 dan X5 berarti minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$.

UJI PARSIAL (UJI t)

1. Uji t untuk β_1

$H_0 = \beta_1 = 0$ (Artinya X1 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_1 \neq 0$ (Artinya X1 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.75 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X1 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

2. Uji t untuk β_2

$H_0 = \beta_2 = 0$ (Artinya X2 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_2 \neq 0$ (Artinya X2 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar -0.38 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X2 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

3. Uji t untuk β_3

$H_0 = \beta_3 = 0$ (Artinya X3 tidak mempengaruhi Y)
 $H_1 = \beta_3 \neq 0$ (Artinya X3 mempengaruhi Y)
Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.06 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X3 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

4. Uji t untuk β_4

$H_0 = \beta_4 = 0$ (Artinya X4 tidak mempengaruhi Y)
 $H_1 = \beta_4 \neq 0$ (Artinya X4 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 0.19 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.16. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X4 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

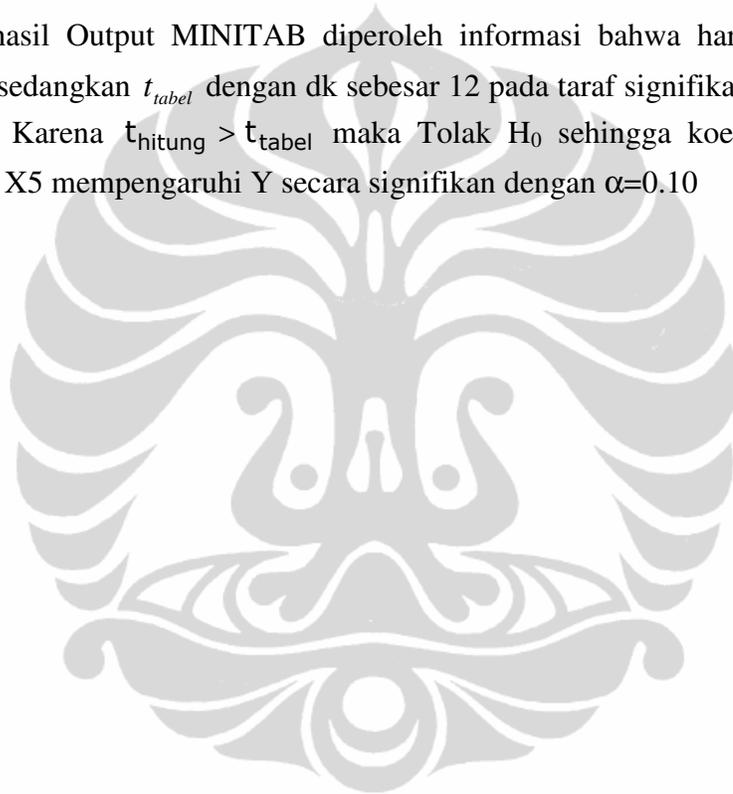
5. Uji t untuk β_5

$H_0 = \beta_5 = 0$ (Artinya X5 tidak mempengaruhi Y)
 $H_1 = \beta_5 \neq 0$ (Artinya X5 mempengaruhi Y)

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
 Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.72 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.72 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.10$ sebesar 1.78. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.10$



KOMBINASI 3

Data Display

Row	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	-3.25129	5.1814	-2.05889	-0.01005	-0.080215	2.43612
2	-3.21435	5.3111	-2.12374	-0.01005	-0.074897	2.60797
3	-3.19097	5.4485	-2.19245	-0.01005	-0.064432	2.65926
4	-3.17090	5.5771	-2.25674	-0.01005	-0.076942	2.68395
5	-3.12416	5.6422	-2.28930	-0.01005	-0.073064	2.75457
6	-3.09281	5.7257	-2.33104	-0.01005	-0.067719	2.79902
7	-3.25129	5.1814	-2.05889	-0.01005	-0.080215	2.55390

Analisis temperatur..., Pratiomo Setyadi, FTUI, 2009

8	-3.19671	5.4711	-2.20375	0.69315	-0.062753	2.68395
9	-3.17033	5.5397	-2.23805	0.69315	-0.057645	2.70805
10	-3.14763	5.6132	-2.27481	0.69315	-0.063848	2.75457
11	-3.10916	5.7116	-2.32399	0.69315	-0.061128	2.76811
12	-3.07478	5.7592	-2.34783	0.69315	-0.060892	2.82053
13	-3.22774	5.2512	-2.03642	1.09861	-0.103652	2.60797
14	-3.17876	5.3523	-2.08985	1.09861	-0.076710	2.65926
15	-3.14926	5.4794	-2.15279	1.09861	-0.064116	3.11352
16	-3.11977	5.5551	-2.20818	1.09861	-0.060191	3.15396
17	-3.10158	5.6066	-2.26790	1.09861	-0.060920	3.16004
18	-3.06380	5.7053	-2.30359	1.09861	-0.057022	3.16004

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 20.6 + 4.38 X1 - 0.104 X2 + 1.40 X3 + 0.0916 X4 + 6.03 X5$$

Predictor	Coef	StDev	T	P	VIF
Constant	20.627	7.494	2.75	0.018	
X1	4.376	1.546	2.83	0.015	10.3
X2	-0.1037	0.7281	-0.14	0.889	19.7
X3	1.400	1.131	1.24	0.239	16.8
X4	0.09163	0.08091	1.13	0.280	2.0
X5	6.027	3.235	1.86	0.087	1.7

S = 0.1151 R-Sq = 80.7% R-Sq(adj) = 72.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.66573	0.13315	10.06	0.001
Error	12	0.15888	0.01324		
Total	17	0.82461			

Source	DF	Seq SS
X1	1	0.47341
X2	1	0.06486
X3	1	0.05648
X4	1	0.02501
X5	1	0.04597

UJI SERENTAK (UJI F)

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ (Artinya X1, X2, X3, X4 dan X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 =$ minimal ada $\beta_i \neq 0$ (Artinya minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

Terima H_0 jika $F_{hitung} < F_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga F_{hitung} sebesar 10.06 sedangkan F_{tabel} dengan dk pembilang 5 dan penyebut 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 3.105. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X_1 , X_2 , X_3 , X_4 dan X_5 minimal salah satu dari X_1 , X_2 , X_3 , X_4 dan X_5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$.

UJI PARSIAL (UJI t)

1. Uji t untuk β_1

$H_0 = \beta_1 = 0$ (Artinya X_1 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_1 \neq 0$ (Artinya X_1 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.83 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X_1 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

2. Uji t untuk β_2

$H_0 = \beta_2 = 0$ (Artinya X_2 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_2 \neq 0$ (Artinya X_2 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar -0.14 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X_2 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

3. Uji t untuk β_3

$H_0 = \beta_3 = 0$ (Artinya X_3 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_3 \neq 0$ (Artinya X_3 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.24 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X3 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

4. Uji t untuk β_4

$H_0 = \beta_4 = 0$ (Artinya X4 tidak mempengaruhi Y)
 $H_1 = \beta_4 \neq 0$ (Artinya X4 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.13 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X4 berarti mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

5. Uji t untuk β_5

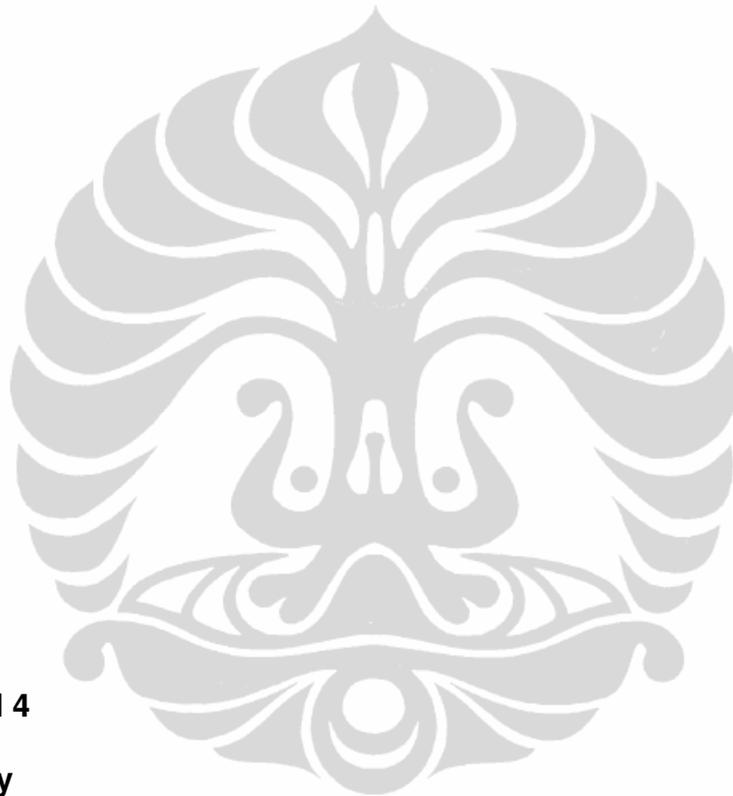
$H_0 = \beta_5 = 0$ (Artinya X5 tidak mempengaruhi Y)
 $H_1 = \beta_5 \neq 0$ (Artinya X5 mempengaruhi Y)

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$
Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.86 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 13 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 koefisien arah regresi Y atas X5 berarti TIDAK mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.86 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.10$

sebesar 1.78. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka koefisien arah regresi Y atas X5 berarti mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.10$



KOMBINASI 4

Data Display

Row	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	-3.25129	5.1814	-2.05889	-0.01005	2.48267	2.43612
2	-3.21435	5.3111	-2.12374	-0.01005	2.55397	2.60797
3	-3.19097	5.4485	-2.19245	-0.01005	2.70976	2.65926
4	-3.17090	5.5771	-2.25674	-0.01005	2.52598	2.68395
5	-3.12416	5.6422	-2.28930	-0.01005	2.57967	2.75457
6	-3.09281	5.7257	-2.33104	-0.01005	2.65834	2.79902
7	-3.25129	5.3841	-2.05889	-0.01005	2.73163	2.55390
8	-3.19671	5.4711	-2.20375	0.69315	2.73700	2.68395
9	-3.17033	5.5397	-2.23805	0.69315	2.82449	2.70805
10	-3.14763	5.6132	-2.27481	0.69315	2.71916	2.75457
11	-3.10916	5.7116	-2.32399	0.69315	2.76407	2.76811
12	-3.07478	5.7592	-2.34783	0.69315	2.76806	2.82053
13	-3.22774	5.2512	-2.03642	1.09861	2.21444	2.60797
14	-3.17876	5.3523	-2.08985	1.09861	2.52913	2.65926
15	-3.14926	5.4794	-2.15279	1.09861	2.71482	3.11352
16	-3.11977	5.5551	-2.20818	1.09861	2.77999	3.15396
17	-3.10158	5.6066	-2.26790	1.09861	2.76758	3.16004
18	-3.06380	5.7053	-2.30359	1.09861	2.83567	3.16004

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

Regression Analysis

The regression equation is

$$Y = 19.5 + 4.47 X1 - 0.141 X2 + 1.40 X3 + 0.0802 X4 + 0.453 X5$$

Predictor	Coef	StDev	T	P	VIF
Constant	19.526	7.318	2.67	0.020	
X1	4.473	1.551	2.88	0.014	10.4
X2	-0.1413	0.7319	-0.19	0.850	20.0
X3	1.399	1.129	1.24	0.239	16.8
X4	0.08019	0.08167	0.98	0.346	2.1
X5	0.4531	0.2406	1.88	0.084	1.8

S = 0.1148 R-Sq = 80.8% R-Sq(adj) = 72.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	0.66649	0.13330	10.12	0.001
Error	12	0.15812	0.01318		
Total	17	0.82461			

Source	DF	Seq SS
X1	1	0.47341
X2	1	0.06486
X3	1	0.05648
X4	1	0.02501
X5	1	0.04673

Unusual Observations	Obs	X1	Y	Fit	StDev Fit	Residual	St
Resid	14	-3.18	2.6593	2.8611	0.0585	-0.2018	-
	2.04R						

R denotes an observation with a large standardized residual

UJI SERENTAK (UJI F)

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ (Artinya X1, X2, X3, X4 dan X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 =$ minimal ada $\beta_i \neq 0$ (Artinya minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

Terima H_0 jika $F_{hitung} < F_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga F_{hitung} sebesar 10.12 sedangkan F_{tabel} dengan dk pembilang 5 dan penyebut 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 3.016. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X1, X2, X3, X4 dan X5 minimal salah satu dari X1, X2, X3, X4 dan X5 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$.

UJI PARSIAL (UJI t)

1. Uji t untuk β_1

$H_0 = \beta_1 = 0$ (Artinya X1 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_1 \neq 0$ (Artinya X1 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 2.88 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X1 mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

2. Uji t untuk β_2

$H_0 = \beta_2 = 0$ (Artinya X2 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_2 \neq 0$ (Artinya X2 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar -0.19 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X2 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

3. Uji t untuk β_3

$H_0 = \beta_3 = 0$ (Artinya X3 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_3 \neq 0$ (Artinya X3 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.24 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka Terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X3 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

4. Uji t untuk β_4

$H_0 = \beta_4 = 0$ (Artinya X4 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_4 \neq 0$ (Artinya X4 mempengaruhi Y)

Kriteria Uji :

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 0.98 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka terima H_0 koefisien arah regresi Y atas X4 tidak mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

5. Uji t untuk β_5

$H_0 = \beta_5 = 0$ (Artinya X5 tidak mempengaruhi Y)

$H_1 = \beta_5 \neq 0$ (Artinya X5 mempengaruhi Y)

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.88 sedangkan F_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sebesar 2.18. Karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka terima H_0 sehingga koefisien arah regresi Y atas X5 berarti TIDAK mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.05$

Dari hasil Output MINITAB diperoleh informasi bahwa harga t_{hitung} sebesar 1.88 sedangkan t_{tabel} dengan dk sebesar 12 pada taraf signifikansi $\alpha=0.10$ sebesar 1.17. Karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka Tolak H_0 koefisien arah regresi Y atas X5 berarti mempengaruhi Y secara signifikan dengan $\alpha=0.10$

RINGKASAN HASIL PENELITIAN KOMBINASI 1 SAMPAI 4

	X1	X2	X3	X4	X5	X5
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
Kombinasi 1	Signifikan	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Signifikan	Signifikan
Kombinasi 2	Signifikan	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Signifikan	Signifikan
Kombinasi 3	Signifikan	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Signifikan
Kombinasi 4	Signifikan	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Not. Signi	Signifikan

Signifikan artinya x mempengaruhi Y

Not Signifikan artinya x tidak mempengaruhi Y

Perbandingan nilai pengukuran panjang nyala dan hasil perhitungan persamaan regresi, menunjukkan deviasi yang tidak terlalu jauh.

Perbandingan Nilai Pengukuran Panjang nyala dan Hasil Perhitungan

Kombinasi 1

Row	T_RING	P_NYALA	FITS1
1	0.039	16.0	17.1696
2	0.040	19.0	18.8067
3	0.041	20.0	20.4438
4	0.042	20.5	22.0808
5	0.044	22.0	25.3550
6	0.045	23.0	26.9921
7	0.039	18.0	17.1696
8	0.041	20.5	20.4438
9	0.042	21.0	22.0808
10	0.043	22.0	23.7179
11	0.045	22.3	26.9921
12	0.046	23.5	28.6291
13	0.040	19.0	18.8067
14	0.042	20.0	22.0808
15	0.043	31.5	23.7179
16	0.044	32.8	25.3550
17	0.045	33.0	26.9921
18	0.047	33.0	30.2662

Regression Analysis

The regression equation is
 $P_NYALA = -46.7 + 1637 T_RING$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	-46.68	17.01	-2.74	0.014
T_RING	1637.1	398.0	4.11	0.001

Analisis temperatur..., Pratomo Setyadi, FTUI, 2009

S = 3.940 R-Sq = 51.4% R-Sq(adj) = 48.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	262.64	262.64	16.92	0.001
Error	16	248.35	15.52		
Total	17	511.00			

Unusual Observations

Obs	T_RING	P_NYALA	Fit	StDev Fit	Residual	St
15	0.0430	31.500	23.718	0.938	7.782	2.03R

R denotes an observation with a large standardized residual

Kombinasi 2

Row	T_TIP	P_NYALA	FITS2
1	178	16.0	18.3316
2	203	19.0	19.9584
3	232	20.0	21.8455
4	264	20.5	23.9278
5	282	22.0	25.0991
6	307	23.0	26.7259
7	218	18.0	20.9345
8	238	20.5	22.2359
9	255	21.0	23.3421
10	274	22.0	24.5785
11	302	22.3	26.4005
12	317	23.5	27.3766
13	191	19.0	19.1775
14	211	20.0	20.4790
15	240	31.5	22.3661
16	259	32.8	23.6024
17	272	33.0	24.4484
18	300	33.0	26.2704

Regression Analysis

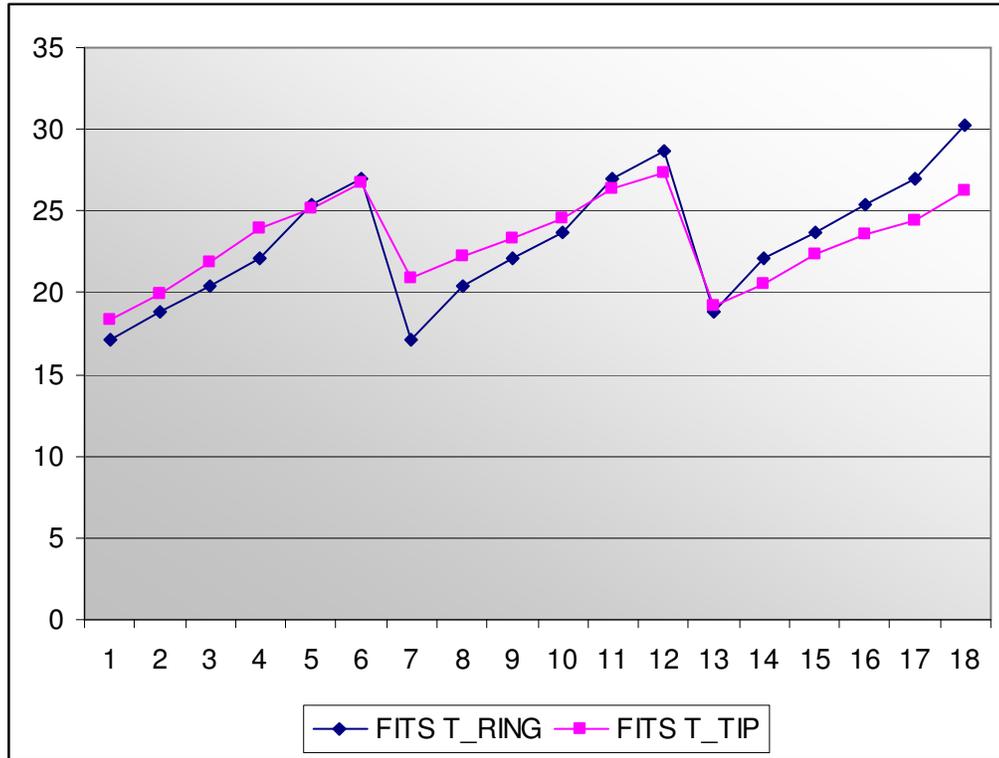
The regression equation is
 $P_NYALA = 6.75 + 0.0651 T_TIP$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	6.749	7.357	0.92	0.373
T_TIP	0.06507	0.02879	2.26	0.038

S = 4.920 R-Sq = 24.2% R-Sq(adj) = 19.5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	123.69	123.69	5.11	0.038
Error	16	387.30	24.21		
Total	17	511.00			



Grafik panjang nyala berdasarkan pembagi T*.